



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE NICESOPHIAANTIPOLIS

**LES ÉTIAGES DANS LE
BASSIN VERSANT DU GARDON DE SAINT-JEAN
(COMMUNE DE PEYROLLES, GARD)**

Claude MARTIN (responsable scientifique)

**Jean-François DIDON-LESCOT,
Jean-Marc DOMERGUE et Joël JOLIVET**

Rapport final pour le SMAGE des Gardons

Décembre 2010

UMR 6012 "ESPACE" - composante niçoise

Sommaire :

	Pages
I : INTRODUCTION	3
II : LES SUIVIS EN 2008-09 ET 2009-10	4
I - Le réseau d'observation	4
II - Les courbes de tarage	9
III : Les conditions climatiques en 2008-09 et 2009-10	12
I - Les précipitations	12
II - Les températures sous abri de mai à septembre	17
III - L'évapotranspiration potentielle	18
IV : Les données hydrologiques 2008-09 et 2009-10	20
I - Les bassins versants de la Vallée Obscure	20
II - Les débits de la source du Château	27
III - Essai de reconstitution des lames d'eau écoulées mensuelles du ruisseau de la Bastide en août	35
IV - Le Gardon de Saint-Jean à Peyrolles	36
V : Conclusion	42
Références bibliographiques	46

I : INTRODUCTION

Dans ce rapport, nous ferons bien sûr la synthèse des données recueillies par l'UMR "ESPACE" dans le secteur de Peyrolles (Gardon de Saint-Jean et Vallée Obscure) au cours des étiages 2009 et 2010, sujet qui a constitué le corps de nos préoccupations dans le cadre de la présente convention.

L'exposé s'appuiera sur l'ensemble des résultats acquis par l'UMR "ESPACE" dans la Vallée Obscure, ce qui permettra d'esquisser aussi un état général des recherches.

Ce rapport a été préparé avec les données disponibles au début du mois d'octobre 2010. Toutefois, dans certains cas, nous avons intégré des données acquises jusqu'à la fin octobre ou le début novembre.

II : LES SUIVIS EN 2008-09 ET 2009-10

I - LE RÉSEAU D'OBSERVATION

Au 1^{er} septembre 2010, le dispositif géré en propre par l'UMR 6012 ESPACE dans le secteur de Peyrolles comprenait huit stations hydrométriques, trois pluviographes, un thermographe sous abri, deux piézographes et une station de mesure de l'humidité des sols par sondes TDR (Fig. 1).

En complément des 5 stations hydrométriques déjà implantées sur le bassin versant du Valescure (pour des superficies contrôlées comprises entre 0,27 et 3,93 km²), trois nouvelles stations ont été équipées en 2009 : la première à la source du Château de Valescure (avril 2009) dont le bassin d'alimentation est estimé à 0,88 ha ; la deuxième sur le Gardon de Saint-Jean, au droit de Peyrolles, pour un bassin de 138 km² (juin 2009) ; la dernière dans la partie aval du Valescure, en amont du *tancat* au-dessus de la station hydrométrique installée en 2003 (octobre 2009).

Les deux premiers sites et leur équipement ont été décrits dans le rapport 2009 (J.F. DIDON-LESCOT *et al.*, 2009).

1) La source du Château

Cette source est située à 200 m au nord du Château et à une vingtaine de mètres au-dessus du niveau de la route qui mène à cette bâtisse. Il s'agit d'une source pérenne dont l'aménagement atteste d'une utilisation ancienne : les eaux sourdent à la base du mur d'une vieille terrasse. La zone de récupération des eaux a ensuite été étendue de quelques mètres vers le nord, en direction d'un thalweg à sec la plupart du temps.

Le bassin, peu profond (10 cm) et d'une superficie de 20 m² environ, qui complète l'aménagement de la source, a été réhabilité il y a une vingtaine d'années par Norbert GOMEZ, habitant du Château de la Vallée Obscure, pour alimenter par gravité, à une centaine de mètres, une citerne de plusieurs m³ destinée à l'alimentation en eau potable de la propriété.

Le bassin est bordé par un mur de 1,5 m de haut construit en pierre sèche. Il est protégé par une toiture en tôles ondulées (Photo 1) pour éviter les arrivées d'eau par ruissellement superficiel en provenance du versant en contre-haut. Le plancher naturel (arène granitique) est colmaté par des particules fines accumulées sur une dizaine de centimètres d'épaisseur. Toutefois, dans la partie aval, le fond a été cimenté. L'intérieur des murs latéraux et aval est également cimenté, sur une hauteur de 20 cm.

La prise d'eau est assurée, en tête de bassin, par un tuyau en PVC amovible de 80 mm de diamètre. Pour les besoins de l'étude, ce système a été court-circuité, de façon à forcer la sortie des eaux par la surverse assurée par un tuyau du même type (Photo 2). La hauteur d'eau dans le bassin atteint une dizaine de centimètres.

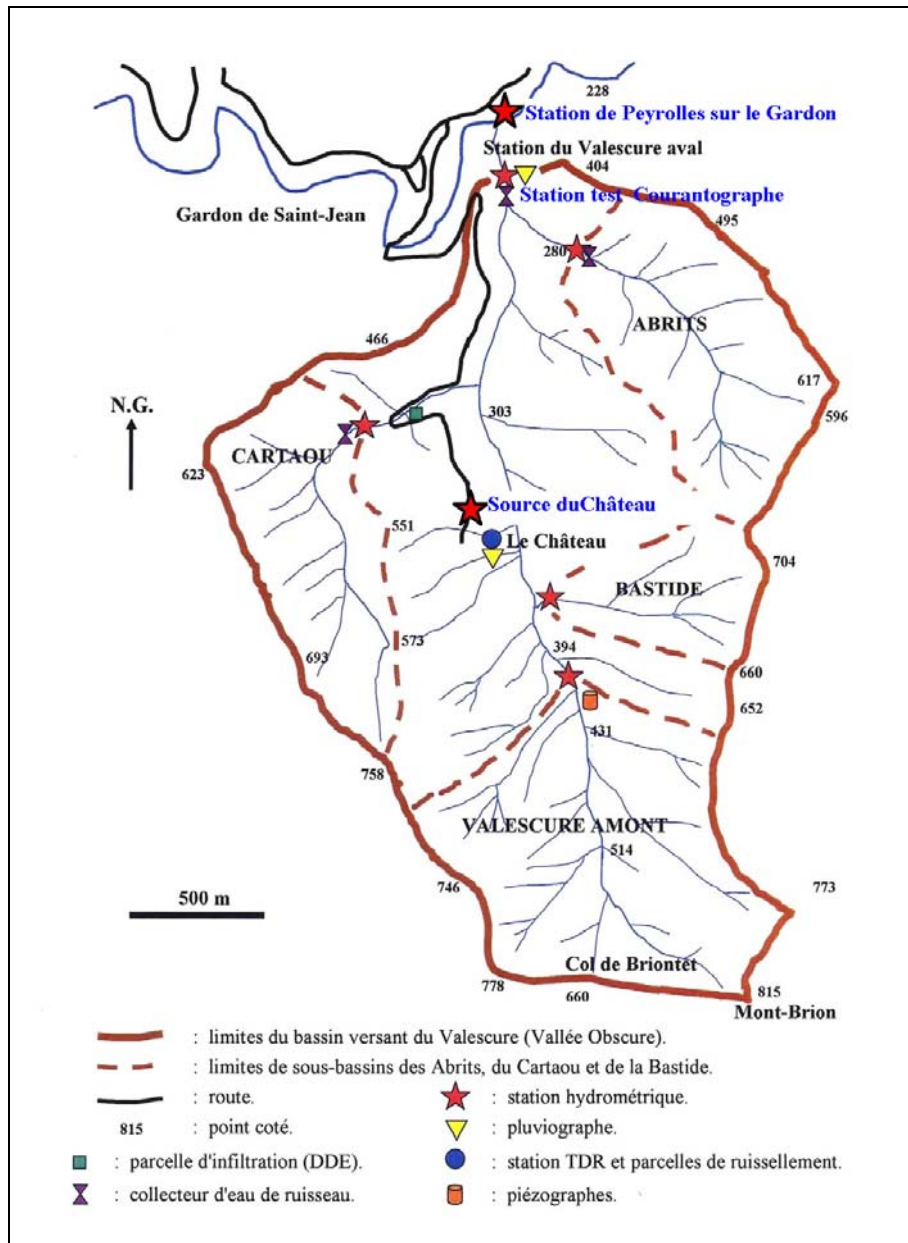


Figure1- Le dispositif de mesure de la Vallée Obscure en 2010.

Les arrivées d'eau à la base du mur sont plus particulièrement abondantes au centre de la zone de collecte et au niveau d'une vasque empierrée non protégée par les tôles.

Avant le début des mesures, la couverture de tôles a été vérifiée et renforcée par des chevrons en châtaigner.

Le dispositif de mesure installé dans le bassin comprend un limnigraphe (capteur de pression 0-2 m relié à une centrale d'enregistrement ALCYR) et une échelle limnimétrique.

Les jaugeages sont réalisés par empotement en sortie de bassin, au niveau du tube de surverse. Les premières mesures ont débuté le 9 avril 2009.



Photo 1 - La source du Château : la couverture en tôles et le tube porte-sonde de la station hydrométrique.



Photo 2 - La surverse du bassin de la source du Château.

2) Le Gardon de Saint-Jean à Peyrolles

Le site retenu se trouve légèrement en aval de la confluence avec le Valescure. Il est situé en rive gauche du Gardon, en terrain communal, à proximité du captage d'eau de la commune de Peyrolles. À ce niveau, le Gardon est encaissé et se trouve 20 m environ en contrebas de la route départementale. En rive gauche, une petite plage de galets, large d'une quinzaine de mètres, est en partie colonisée par des arbres qui se sont développés depuis la crue de 2002. Le fond du lit comme la berge en rive droite sont entaillés dans du gneiss.

L'équipement a été mis en place le 16 juin 2009. Il comprend une échelle limnimétrique d'un mètre, et un capteur de pression 0-2 m relié à un enregistreur ALCYR. L'échelle et la sonde, fixées à un rocher (Photos 3 et 4), se trouvent en un point qui reste en eau même en étiage extrêmement sévère.



Photo 3 - Le Gardon de Saint-Jean au niveau de la station hydrométrique de Peyrolles (à gauche) le 16 juin 2009.



Photo 4 - La station hydrométrique de Peyrolles le 12 novembre 2009.

Cette station temporaire est strictement destinée à l'étude des étiages. Les conditions particulièrement propices de l'été et de l'automne 2009 ont permis d'enregistrer les niveaux jusqu'à la première crue un peu importante, le 21 octobre, date à laquelle le matériel a été démonté. Il a ensuite été remis en place le 13 novembre et a fonctionné sans discontinuer jusqu'au 22 octobre 2010 (Photo 5).



Photo 5 - Station hydrométrique sur le Gardon de Saint-Jean à Peyrolles, lors d'une décrue, le 5 février 2010.

3) Le courantographe dans la partie aval du ruisseau de Valescure

Les courbes de tarage de toutes les stations sont largement extrapolées pour les débits les plus forts, comme ceux observés sur le Valescure en septembre 2002 (limnigraphe du Conseil Général) ou sur tous les cours d'eau en octobre 2006. Il nous est donc apparu nécessaire de mettre en place un courantographe à effet DOPPLER, afin de mesurer les débits de crue de façon plus simple que par les méthodes de jaugeage classiques (micromoulinet ; jaugeage par dilution, avec injection de chlorure de sodium et suivi conductimétrique). L'objectif n'est pas de gérer en continu une station hydrométrique supplémentaire, mais d'effectuer quelques séries de mesures permettant, d'une part, de compléter la courbe de tarage déjà établie pour une station hydrométrique proche et, d'autre part, de tester la validité de la méthode que nous avons utilisée pour l'extrapolation des courbes de tarage.

Le courantographe (modèle ARGONAUTE SL de la société Son Tek – Photos 6 et 7) a été mis en place en amont du grand *tancat* qui domine la station de Valescure aval. En rive gauche, la section est délimitée par un mur en pierre sèche sur plus de un mètre de hauteur. La berge opposée, sans aménagement, offre bien sûr une pente plus douce, mais aussi plus irrégulière dans sa partie supérieure. L'équipement est complété par une mire limnimétrique de 1 m et par un capteur de pression associé à une centrale d'acquisition (MONOPHEME, société ALCYR).



Photo 6 - Le courantographe du Valescure lors de sa mise en place le 20 octobre 2009.



Photo7 - La station du courantographe en janvier 2010.

Depuis l'installation de la station, le 20 septembre 2009, les hauteurs d'eau sur le site n'ont jamais dépassé 50 cm (47,8 cm le 21/10/2009 à 11h43 – ce qui correspond à un débit de l'ordre de 2500 l/s à la station aval). Le boîtier devant être recouvert d'au moins 20 cm d'eau pour que les mesures soient satisfaisantes, c'est une hauteur d'eau supérieure à 40 cm qui est en réalité nécessaire. De plus, l'appareil doit être immergé lorsqu'il est initialisé, ce qui rend son utilisation impossible en continu. Ces contraintes, associées à des conditions hydrologiques bien peu favorables, n'ont pas encore permis l'obtention de résultats intéressants. Les quelques tests effectués nous laissent cependant confiants pour la réalisation de notre objectif.

4) Les problèmes rencontrés

En 2008-2009, différents problèmes ont perturbé les suivis hydrométriques, notamment sur la station du Valescure aval où 76 jours de mesure ont été perdus de mars à mai 2009, période sans crue pour laquelle les débits journaliers ont pu être reconstitués. Les autres stations n'ont subi aucune perte d'information.

En 2009-2010, les cinq stations hydrométriques du réseau de base (Valescure aval : 3,93 km² ; Abrits : 0,63 km² ; Cartau : 0,52 km² ; Bastide : 0,28 km² ; Valescure amont : 0,93 km²) ont bien fonctionné.

Sur le Gardon de Saint-Jean à Peyrolles, l'enregistrement a été volontairement interrompu pendant un total de 29 jours :

- en 2009, du 21 octobre à 9h31 (cote 126,9 cm, débit estimé à 11404 l/s) au 13 novembre à 11h15 (cote de 42,1 cm) ;
- en 2010, du 7 septembre à 10h00 (débit de 190 l/s) au 13 septembre à 13h22 (débit de 172 l/s).

Dans les deux cas, il s'agissait de protéger le matériel des risques de destruction lors de crues imminentes. Il est en effet nécessaire de retirer de ce site la centrale de mesures lorsque la cote est supérieure à 1,50 m (débit de 15 m³/s).

À la source du Château, une petite fuite a été mise en évidence à la fin de l'étiage estival 2009. Pour y remédier, l'étanchéité autour de la bonde de vidange a été renforcée. De ce fait, les

enregistrements sont incertains entre le 23 octobre et le 18 novembre. Les débits sont calés sur les jaugeages réalisés au cours de cette période.

Enfin, en dépit de la discrétion du site, il faut déplorer le vol du système d'enregistrement (centrale de mesure et panneau solaire) à la source du Château en 2010. L'appareil mis en remplacement ayant souffert d'un défaut d'alimentation, 22 jours d'observation ont finalement été perdus du 13 septembre à 15h01 au 4 octobre à 9h30. Mais les débits journaliers ont pu être reconstitués (par régression avec les débits du ruisseau de la Bastide).

Les deux pluviographes implantés près du Château de la Vallée Obscure ont connu des pannes au cours de l'hiver 2008-09, mais leur association a permis de disposer d'une chronique complète. Le pluviographe de Valescure aval s'est montré souvent défaillant sur la même période, du fait de la mauvaise qualité d'une connectique, panne qui a été élucidée tardivement. Les données journalières manquantes ont été reconstituées à partir des mesures faites au Château, en s'appuyant sur les relevés au seau. Quand ces derniers ont fait défaut (du 10 février au 10 avril 2009, le bidon ayant été crevé par la glace), les valeurs ont été reconstituées par régression entre les valeurs aux deux postes.

En 2009-10, les pluviographes ont dans l'ensemble bien fonctionné. Sur le site du Château, il manque 22 jours d'enregistrement (lacune correspondant à 22 mm), suite à un défaut de centrale du 14 au 30 juin. Pour le site de Valescure aval, les lacunes portent sur 18 jours et 143 mm : panne de la centrale du 31 mars au 7 avril, (74 mm en 4 jours) ; mise hors service de la station par des rôdeurs (entonnoir enlevé, seau de contrôle basculé) à deux reprises entre le 22 septembre et le 2 octobre (69 mm en 4 jours).

Les autres équipements, piézographes implantés en bas de versant en rive droite près de la station du Valescure amont et station de suivi en continu de l'humidité des sols par sondes TDR du Château, ont bien fonctionné jusqu'au 21 octobre 2010, date à laquelle la station TDR a dysfonctionné.

II - LES COURBES DE TARAGE

Les nombreux jaugeages réalisés en 2008-09 ont permis d'affiner les courbes de tarage des stations hydrométriques gérées sur le Valescure aval et sur les ruisseaux des Abrits, de la Bastide, du Valescure amont et du Cartaou. Les débits déjà calculés ont été révisés en conséquence.

L'année 2009-10 n'a pas fourni de situation très nouvelle ni de débit remarquable. Elle a été mise à profit pour reprendre la courbe de tarage de la source du Château après les ennuis connus fin 2009 et pour construire celle de la station de Peyrolles sur le Gardon de Saint-Jean.

1) La source du Château de la Vallée Obscure

Les jaugeages sont faits par empotement à la surverse. Après le colmatage de la fuite découverte fin octobre 2009, 25 jaugeages ont été réalisés du 18 novembre 2009 au 3 novembre 2010, pour des débits entre 0,071 et 0,41 l/s et des hauteurs entre 38,7 et 40,8 cm (Fig. 2).

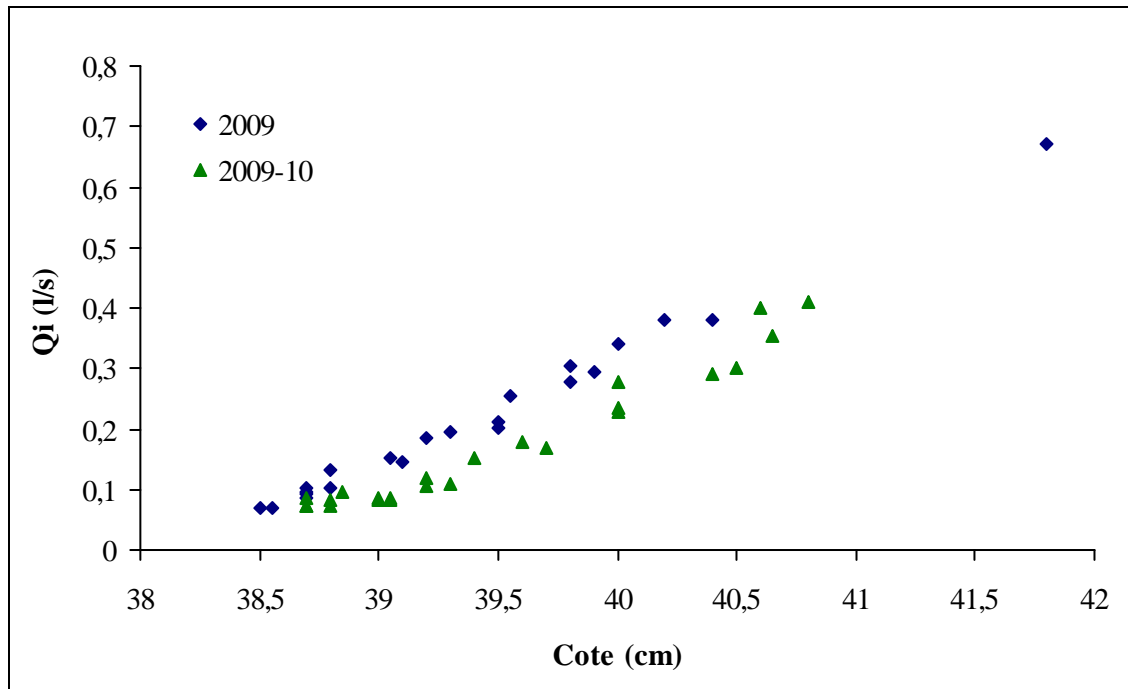


Figure 2 - Jaugeages réalisés à la source du Château de la Vallée Obscure en 2009 (jusqu'en octobre) et en 2009-10.

L'écart entre la première série de jaugeages (jusqu'en octobre 2009) et la suivante s'explique par un décalage de l'échelle lors des travaux de colmatage de la fuite.

Les jaugeages effectués jusqu'en octobre 2009 montrent un bon alignement des points le long d'une droite unique.

Les mesures ultérieures sont plus dispersées et s'embent s'organiser selon deux droites de régression, avec une pente faible lors des très basses eaux. Certes, la lecture des cotes avec une précision supérieure à ± 2 mm est difficile et l'intervention de deux observateurs différents est une cause supplémentaire d'incertitude, mais la dispersion des points à partir de novembre 2009 ne permet pas une exploitation satisfaisante des données. Pour cette période, nous repartirons donc de l'équation de la droite de régression précédente, corrigée en évaluant le décalage de l'échelle à 1,5 mm.

2) Le Gardon à Peyrolles

Nous utilisons une méthode de jaugeage par dilution. Après l'injection d'une saumure contenant un kilogramme de chlorure de sodium, le passage du nuage de sel est suivi en continu à l'aide d'un conductimètre. En basses eaux, l'injection est effectuée à une quarantaine de mètres en amont du point de mesure. La distance est augmentée en hautes eaux.

Les dix-neuf jaugeages réalisés du 16 juin 2009 au 29 mai 2010 couvrent une gamme de débits de 114 à 11 528 l/s (pour des hauteurs à l'échelle de 33,7 à 127 cm).

La relation hauteur/débit suit globalement une loi polynomiale de second ordre (Figure 3).

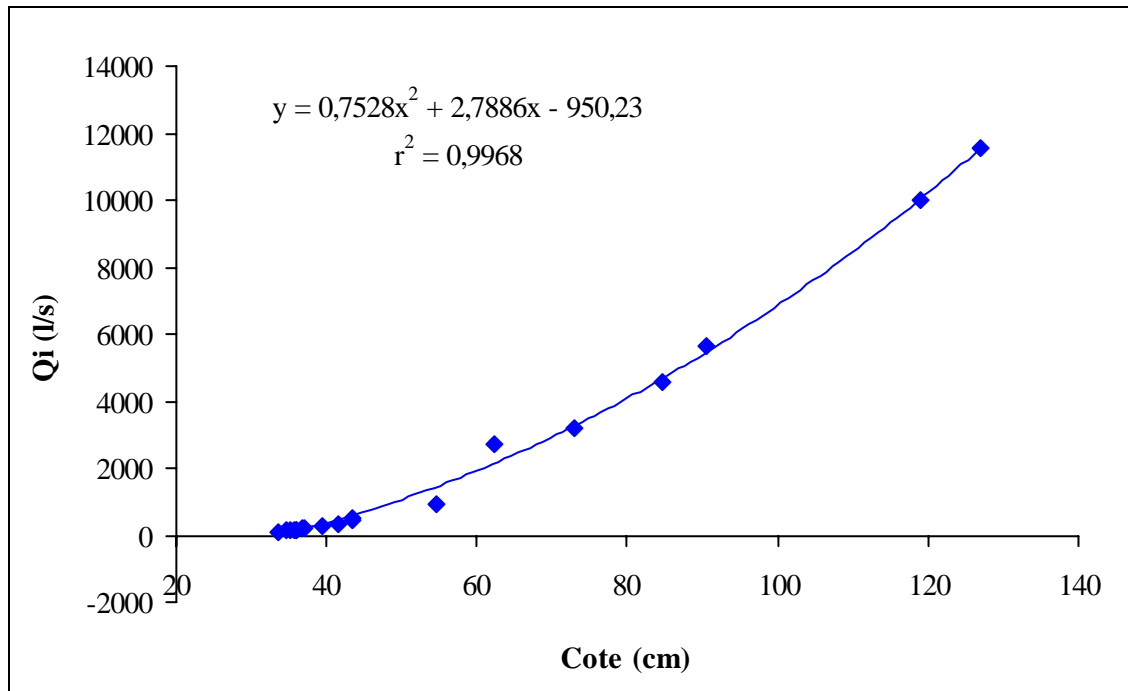


Figure 3 - Jaugeages sur le Gardon de Saint-Jean à Peyrolles.

Pour le calcul des débits, nous avons retenu trois équations : une équation du premier degré pour les cotes inférieures à 38,7 cm (débit de 237 l/s), puis deux équations du second degré pour les cotes allant jusqu'à 54,3 cm (débit de 931 l/s) et supérieures. La courbe de tarage est encore provisoire. Des jaugeages complémentaires seront nécessaires pour améliorer l'information, en particulier pour les cotes entre 50 et 70 cm et pour les niveaux supérieurs à 100 cm.

En 2009-10, la presque totalité des hauteurs d'eau enregistrées ont été inférieures au plus haut niveau jaugeé. Les périodes au cours desquelles les cotes ont dépassé 127 cm totalisent 39 heures seulement : 10h30 le 14 janvier ; 20h30 les 17 et 18 février et 8h le 26 mars.

III : LES CONDITIONS CLIMATIQUES EN 2008-09 ET 2009-10

I - LES PRÉCIPITATIONS

1) La répartition des pluies dans l'année

Au cours de l'année hydrologique 2008-09, les précipitations ont atteint 1905 mm au poste du Château (2^{ème} rang depuis 2003). Au poste de Valescure aval, la chronique présente de nombreuses lacunes, en janvier, février et août. Après reconstitution des valeurs journalières, les précipitations annuelles s'établissent à 1723 mm. En effectuant les reconstitutions à l'échelle mensuelle, à partir de la relation entre les deux postes sur la période 2004-2010, (Fig. 4), on obtiendrait 1821 mm.

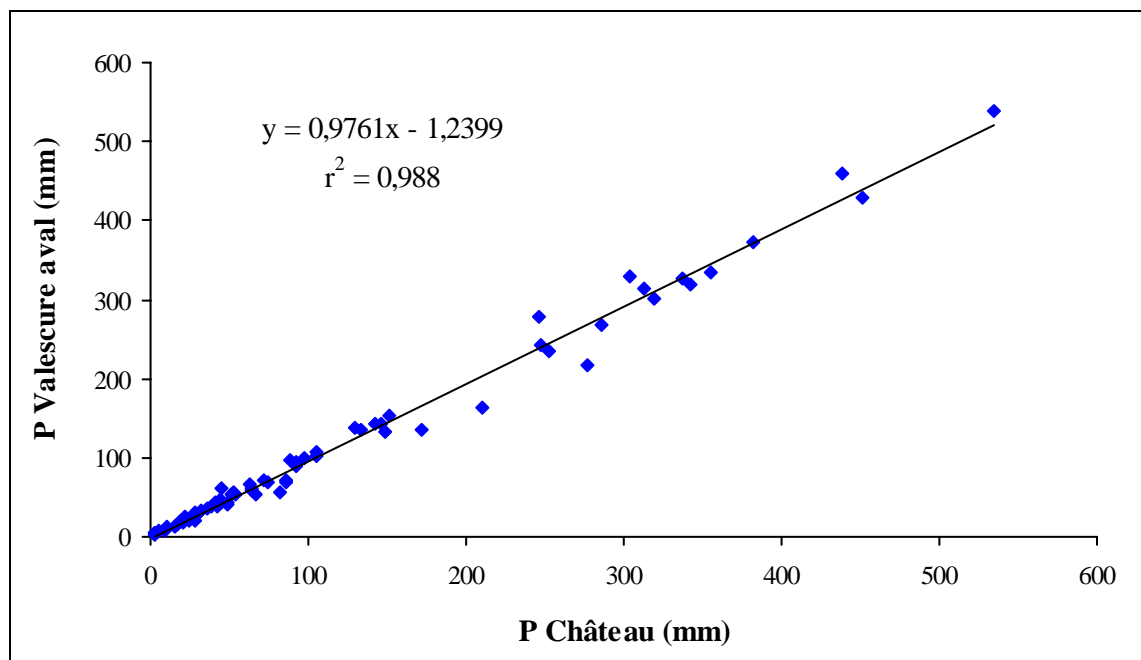


Figure 4 - Relation entre les précipitations mensuelles aux postes du Château et de Valescure aval sur la période septembre 2004 - août 2010.

Les précipitations neigeuses ont été extrêmement faibles : 1,5 cm de neige au sol lors de l'épisode des 7 et 8 janvier 2009.

Au Château, le cumul annuel présente un excédent de 18 % par rapport à la moyenne sur la période 2003-04 - 2009-10 (Tab. I). L'été 2009 s'est achevé avec les pluies des 8 et 9 octobre (60 mm) et surtout du 20 au 22 octobre (182 mm, dont 110 mm le 22) (Fig. 5).

En dépit de la faiblesse des précipitations de septembre, les pluies sur les 4 premiers mois de l'année hydrologique 2008-09 se révèlent excédentaires de 40 % par rapport à la valeur moyenne sur la période 2003-10 (Tab. I). Les 4 mois suivants sont encore excédentaires, de

Tableau I - Précipitations mensuelles et annuelles en mm (de septembre à août) mesurées au Château de la Vallée Obscure depuis le début des mesures.

	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2003-10	Ratio (6)/Moy.	Ratio (7)/Moy.
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	Moy.		
Septembre	95	27	278	247	41	22	21	104	0,21	0,20
Octobre	284	355	337	534	86	280	246	303	0,92	0,81
Novembre	472	27	151	146	438	452	44	247	1,83	0,18
Décembre	392	63	11	98	24	382	134	158	2,42	0,85
Janvier	58	3	313	53	319	75	143	138	0,54	1,04
Février	136	19	28	67	171	252	343	145	1,74	2,37
Mars	264	30	64	8	32	65	211	96	0,68	2,19
Avril	299	105	48	89	286	230	45	157	1,46	0,29
Mai	58	52	54	130	304	36	149	112	0,32	1,33
Juin	16	82	5	93	105	45	71	60	0,76	1,19
Juillet	7	3	43	17	44	28	18	23	1,23	0,79
Août	45	49	92	15	86	39	20	49	0,79	0,40
Total annuel	2243	813	1425	1497	1936	1905	1443	1609	1,18	0,90

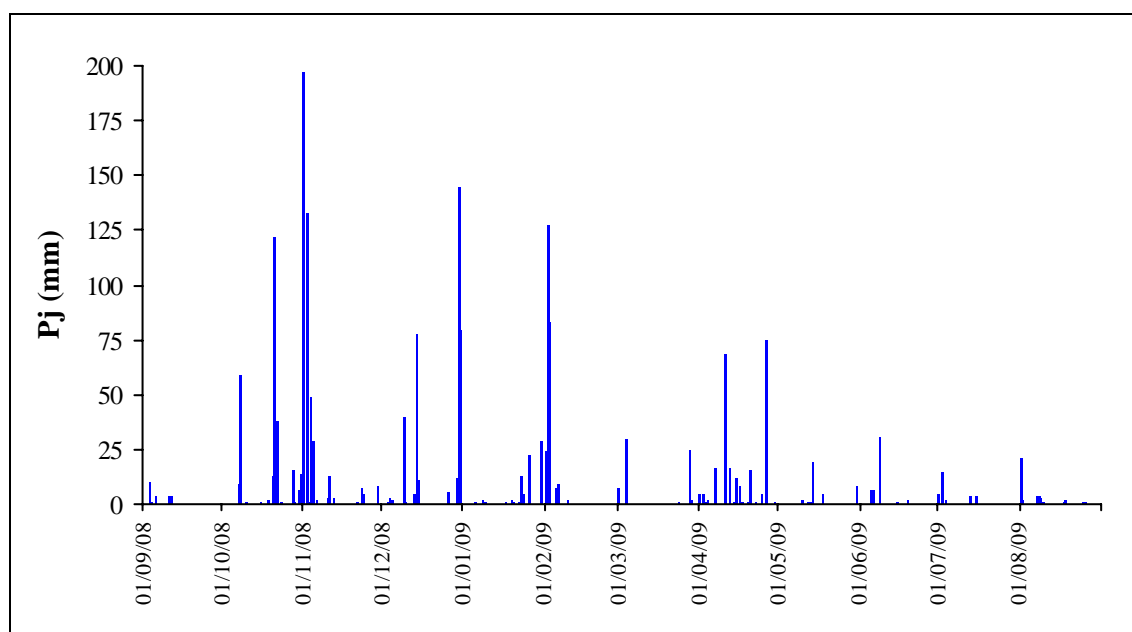


Figure 5 - Précipitations journalières (de 0 à 24 h – heures d'hiver) en 2008-09 au Château de la Vallée Obscure.

16 %, grâce à février et avril, alors que janvier et mars sont déficitaires. Enfin, les mois de mai à août accusent un déficit cumulé de 45 %. Seules les précipitations de juillet sont légèrement plus fortes que la moyenne 2003-10, mais avec un total pluviométrique qui reste faible.

Les précipitations journalières (de 0h00 à 24h00, en heure d'hiver) ont dépassé 100 mm le 21 octobre (122 mm au Château ; 73 mm seulement ont été enregistré à Valescure aval, mais

il faut sans doute incriminer un problème de mesure), le 1^{er} et le 2 novembre (197 et 133 mm respectivement au Château), le 30 décembre (145 mm) et le 2 février (128 mm) (Fig. 5). La pluie du 26 avril (74,4 mm) est la dernière supérieure à 31 mm.

En 2009-10, il est tombé 1444 mm de précipitations au poste du Château et 1394 mm au poste de Valescure aval. L'enneigement s'est limité à quelques jours de neige au sol début janvier et début mars (35 cm au sol le 3 mars, avec un équivalent en eau de 29 mm). Les jours de pluie sont plus nombreux qu'en 2008-09, mais avec des pluies journalières plus modérées (Fig. 6 et Tab. II). Les précipitations journalières au Château n'ont dépassé 100 mm que deux fois : 110 mm le 21 octobre 2009 et 106 mm le 17 février 2010. La dernière pluie journalière supérieure à 50 mm s'est produite le 25 mars (avec un cumul de 89 mm pour les 25 et 26 mars) et l'épisode pluvieux des 8 au 13 mai (106 mm) est le dernier apport important avant les précipitations du mois d'octobre 2010 (341 mm, dont 194 mm les 30 et 31).

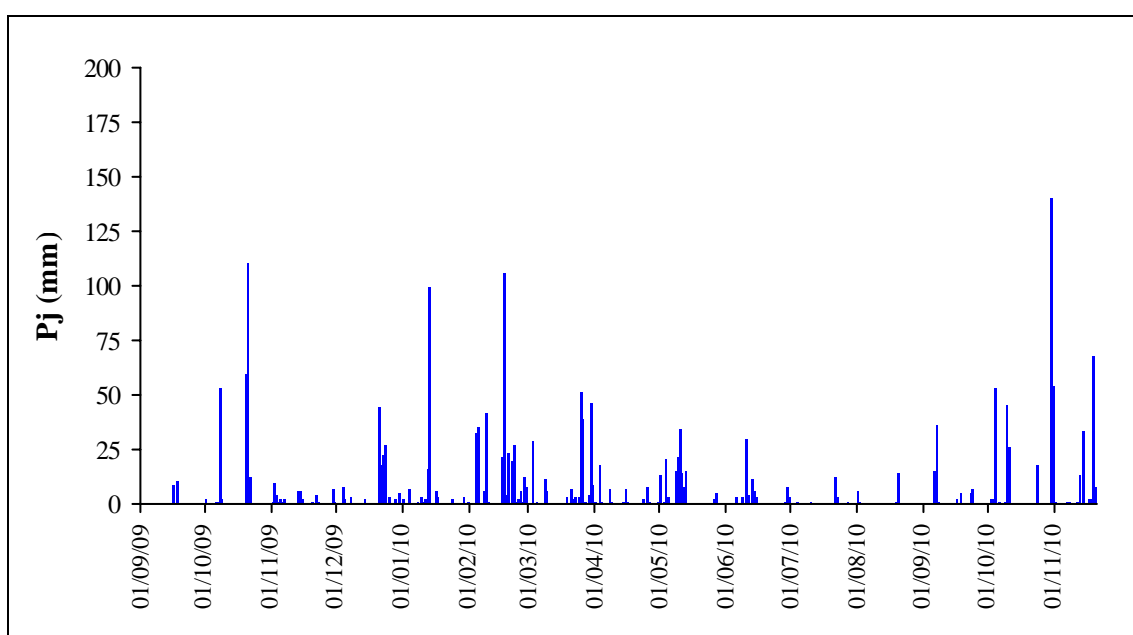


Figure 6 - Précipitations journalières du 1^{er} septembre 2009 au 20 novembre 2010 au Château de la Vallée Obscure.

Tableau II - Nombre de jour où la pluie a dépassé un seuil donné au Château de la Vallée Obscure en 2008-09, en 2009-10 et sur la période 2003-2010 (années de septembre à août).

(mm)	2008-2009	2009-2010	Moyenne 2003-10
>1	87	103	72
>10	36	37	31
>50	11	6	8
>100	5	2	2

L'année 2009-10 est déficitaire de 10 % par rapport à la moyenne sur la période 2003-10 (Tab. I). Elle se classe au 3^{ème} rang des années les plus sèches depuis le début des mesures en 2003 (sur 7 années). Un fort déficit a caractérisé le début de l'année (Tab. I et Fig. 7). Par rapport aux données moyennes sur la période 2003-10, le manque de pluie se manifeste dès le

début de l'automne, en particulier en septembre (-82 %) et en novembre (-84 %). Les quatre premiers mois de l'année hydrologique accusent un déficit de 367 mm. Au cours des mois suivants, l'écart diminue en février et mars, puis reste inférieur à 170 mm. Les précipitations de juillet et août sont très faibles (-26 % et -63 % respectivement). Il est à noter que le cumul pluviométrique de janvier à mars représente 48 % des précipitations annuelles. Cette situation où les précipitations tombent en grande partie en hiver n'a que très rarement été observée jusqu'à présent en Cévennes.

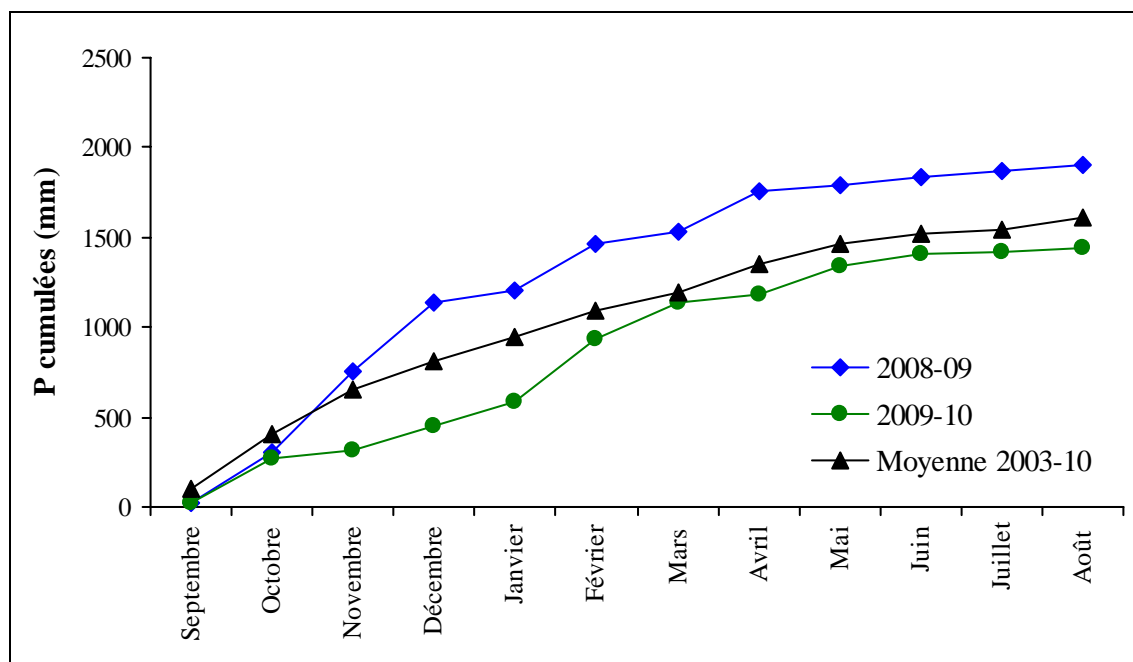


Figure 7 - Cumul des pluies tombées en 2008-09 et 2009-10 et comparaison avec la moyenne sur la période 2003-10 (années de septembre à août).

2) Les pluies de mai à septembre

Le cumul pluviométrique du 1^{er} mai au 30 septembre 2009 (170 mm au Château) est le plus faible depuis 2003 (Fig. 8). Il représente 49 % seulement des précipitations moyennes sur la même période de l'année depuis 2003 (347 mm). Ensuite, 4,9 mm tombent début octobre, avant la première pluie journalière abondante de l'année 2009-10 (57,4 mm le 8 octobre).

Au Château de la Vallée Obscure, les mois de mai à septembre n'ont connu en 2009 que 5 pluies journalières supérieures à 10 mm, contre 11 jours en moyenne au cours des années précédentes. Deux pluies successives sont séparées par 17 à 45 jours (Tab. III). Les précipitations journalières maximales (30,6 mm) ont été enregistrées le 8 juin.

En 2010, la situation est très différente. Du 1^{er} mai au 30 septembre, au Château, le cumul pluviométrique (326 mm) avoisine la valeur moyenne sur les 8 années d'observation (347 mm). Treize pluies journalières ont dépassé 10 mm, avec une forte concentration début mai (Tab. IV) ; 142 mm ont ainsi été enregistrés du 1^{er} au 13 de ce mois. Ensuite, jusqu'au 30 septembre, 184 mm ont été précipités, soit finalement un peu moins des 3/4 de la valeur moyenne sur la période 2003-2010 (soit 254 mm, du 15 mai au 30 septembre).

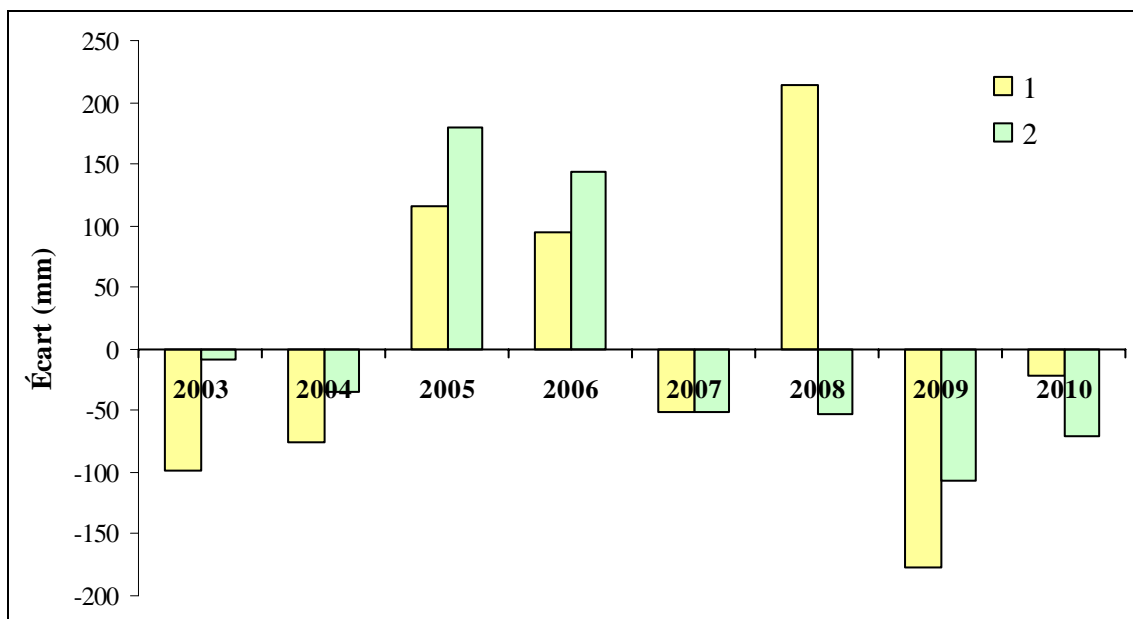


Figure 8 - Écart entre les précipitations enregistrées chaque année du 1^{er} mai (série 1) et du 15 mai (série 2) au 30 septembre, au Château de la Vallée Obscure, avec les valeurs moyennes sur la période 2003-2010.

Tableau III - Nombre de jours entre deux pluies journalières successives supérieures à 10 mm, du 26 avril au 8 octobre 2009, au poste du Château.

Date de la pluie	Écart (jours)	Pj (mm)
26 avril	-	74,4
14 mai	17	19,0
08 juin	24	30,6
02 juillet	23	14,4
1 ^{er} août	29	21,2
16 septembre	45	11,3
08 octobre	21	57,3

Tableau IV - Nombre de jours entre deux pluies journalières successives supérieures à 10 mm, du 13 mai au 4 octobre 2010, au poste du Château.

Date	Écart (jours)	Pj (mm)
1 ^{er} mai	-	13,4
04 mai	2	20,1
08 mai	3	14,4
09 mai	0	21,3
10 mai	0	34,1
11 mai	0	13,8
13 mai	1	14,4
10 juin	27	30,0
13 juin	2	11,5
22 juillet	38	12,5
20 août	28	13,5
06 septembre	16	14,5
07 septembre	0	36,5
04 octobre	26	53,1

En fait, c'est surtout à la faiblesse des précipitations de juillet à septembre que la pluviométrie de l'été 2010 doit son caractère de relative sécheresse. Pour ces trois mois, avec 106 mm de précipitations, 2010 se classe au troisième rang des années les plus sèches sur la période 2003-2010, après 2007 (73 mm) et 2009 (85 mm). La situation a été particulièrement difficile du 23 juillet au 19 août : 10 mm de pluie en trois jours.

À Saint-Jean-du-Gard, sur 122 années de 1889 à 2010, 2009 se situe en 6^{ème} position (sur 122) des années les plus sèches pour les précipitations de mai à septembre (188 mm) et 2010 en 13^{ème} position (233 mm). L'année 1906 (91 mm) détient le record, devant 1979 (151 mm). Pour les années 2003-2010, 2010 vient donc au deuxième rang, avant 2004 (18^{ème} position – 247 mm) et 2007 (36^{ème} position – 311 mm). Les années se classent donc ici dans un ordre différent de celui de la Vallée Obscure. Pour les 8 dernières années, seule l'année 2005 présente des précipitations de mai à septembre (473 mm) supérieures aux valeurs moyenne et médiane sur 122 ans (438 et 425 mm respectivement – valeur maximale : 931 mm en 1963).

II - LES TEMPÉRATURES SOUS ABRI DE MAI À SEPTEMBRE

De mai à septembre 2009, les températures moyennes mensuelles au site du Château sont toutes supérieures aux valeurs moyennes sur la période 2003-2010 (Tab. V). C'est tout particulièrement le cas en mai (+1,5 °C), en août (+1,8 °C) et en septembre (+1,1 °C). Seule l'année 2003 a été plus chaude.

Tableau V - Températures moyennes mensuelles au Château de la Vallée Obscure de mai à septembre en 2009 et 2010 et valeurs moyennes sur la période 2003-2010.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Moyenne 2003-2010 (T1)	15,5	19,7	22,5	21,7	17,6
Moyenne 2009 (T2)	17,0	20,1	22,5	23,5	18,7
Écart de T2 par rapport à T1 (°C)	1,5	0,4	0,0	1,8	1,1
Moyenne 2010 (T3)	14,0	18,5	22,9	21,8	16,9
Écart de T3 par rapport à T1 (°C)	-1,7	-1,3	0,5	0,1	-0,8

Les températures moyennes journalières utilisées pour le calcul des températures moyennes mensuelles sont données par la demi-somme des températures minimale et maximale du jour (le thermographe enregistre une donnée toutes les 20 minutes).

La température instantanée maximale a été enregistrée le 18 août, avec 36,9 °C (loin de la valeur atteinte le 12 août 2003 : 39,1 °C). Une température de 28,0 °C a encore été mesurée le 28 septembre.

Pour la même période en 2010, les températures moyennes mensuelles sont inférieures aux valeurs moyennes (mai, juin, septembre) ou seulement légèrement supérieures (juillet et août). La température instantanée maximale (34,1 °C) a été enregistrée le 21 août.

III - L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

L'ETP a été déterminée par la formule de TURC, dans sa version la plus simple :

$$\text{ETP mensuelle (mm/mois)} = 0,40 \times (T / (T + 15)) \times (I_g + 50) \times N/31$$

où I_g est la radiation globale solaire mesurée ou calculée ($\text{calories/cm}^2/\text{jour}$), T la température moyenne ($^{\circ}\text{C}$) et N le nombre de jours du mois. $I_g = I_{gA} (0,18 + 0,62 h/H)$, h étant la valeur mesurée de la durée d'insolation (en heures), tandis qu' I_{gA} (énergie de la radiation qui atteindrait le sol si l'atmosphère n'existait pas, en $\text{calories/cm}^2/\text{jour}$) et H (durée astronomique du jour, en heures) sont données par des tables en fonction de la latitude.

Ne disposant pas de mesures de la durée d'insolation dans la Vallée Obscure, nous avons utilisé les données recueillies à la station de La Vialasse, sur le Mont-Lozère, 32 km plus au nord.

De septembre 2003 à août 2010, les valeurs annuelles de l'ETP au Château de la Vallée Obscure sont comprises entre 848 mm, en 2006-07, et 908 mm, en 2008-09 (Tab. VI).

Tableau VI : ETP TURC (mm) calculée par année hydrologique (de septembre à août) et pour la période d'étiage de mai à septembre.

	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	Moyenne 2003-10
Année	874	899	854	848	870	908	853	872
Mai à sept.	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	678	634	629	612	572	575	656	602

Pour la période de mai à septembre (Fig. 9), avec une ETP de 656 mm, 2009 se place au deuxième rang derrière 2003 (678 mm). Au niveau mensuel (Fig. 0), 2009 tient le premier rang en mai (123 mm), le second en août (143 mm, contre 151 mm en 2003) et le troisième en septembre (94 mm). En 2010, l'ETP de la même période est nettement plus faible (602 mm, au 6^{ème} rang), avec des valeurs faibles en mai et juin, alors que la valeur cumulée de juillet à septembre est très proche de celle de l'année précédente.

Le niveau atteint par l'ETP en 2009 pour les mois de mai à septembre tient largement à la durée d'insolation (1483 heures à La Vialasse). Depuis 1985, seules les années 1989 (1511 h) et 2003 (1497 h) ont présenté des valeurs plus élevées. Par rapport aux valeurs moyennes sur les 25 années précédentes, les durées d'insolation mensuelles mesurées en 2009 ont été supérieures pour tous les mois, et tout particulièrement en mai et en septembre (+21 %). À l'inverse, l'ETP a été limitée en 2010 par la fraîcheur de l'été et par le déficit d'ensoleillement à la fin du printemps.

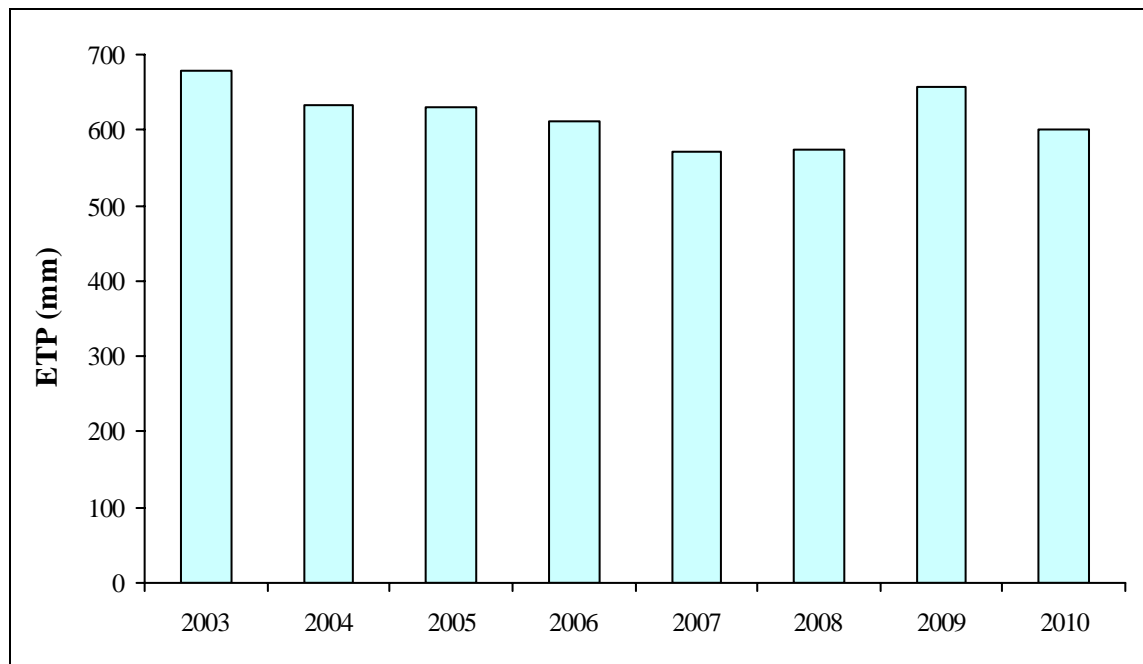


Figure 9 - Évapotranspiration potentielle, selon la formule de TURC, du 1^{er} mai au 30 septembre des années 2003 à 2010 au Château de la Vallée Obscure.

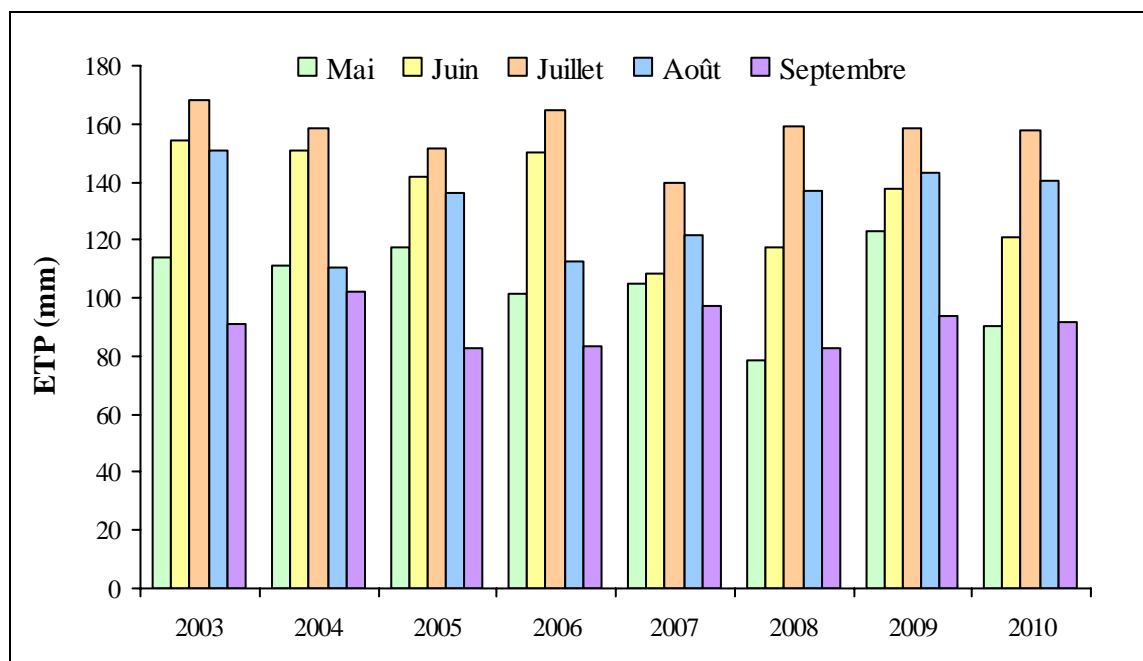


Figure 10 - Valeurs mensuelles de l'ETP, selon la formule de TURC, pour les mois de mai à septembre des années 2003 à 2010 au Château de la Vallée Obscure.

IV : LES DONNÉES HYDROLOGIQUES 2008-09 ET 2009-10

I - LES BASSINS VERSANTS DE LA VALLÉE OBSCURE

1) Les écoulements

Sur ce plan, les années 2008-09 et 2009-10 diffèrent sensiblement, les écoulements étant excédentaires par rapport aux valeurs moyennes sur la période 2003-10 au cours de la première et déficitaires au cours de la seconde. Mais toutes deux sont marquées par un étiage estival qui se prolonge jusqu'au mois d'octobre, situation qui se répète en 2010-11.

Au début de l'année 2008-09, l'étiage se prolonge jusqu'au 8 octobre (Fig. 11 et 12). La reprise des écoulements ne s'opère vraiment qu'après les épisodes du 19 au 23 octobre (précipitations de 174 mm au Château) et surtout du 28 octobre au 6 novembre (précipitations de 448 mm). C'est le 2 novembre que sont enregistrés les plus forts débits instantanés de l'année : 2441 l/s/km² à 4h49 sur le Valescure aval, 2343 l/s/km² à 4h31 sur le ruisseau des Abrits ; 2151 l/s/km² à 4h49 sur le Cartaou ; 1379 l/s/km² à 3h43 sur le ruisseau de la Bastide et seulement 1 132 l/s/km², à 4h49, sur le Valescure amont.

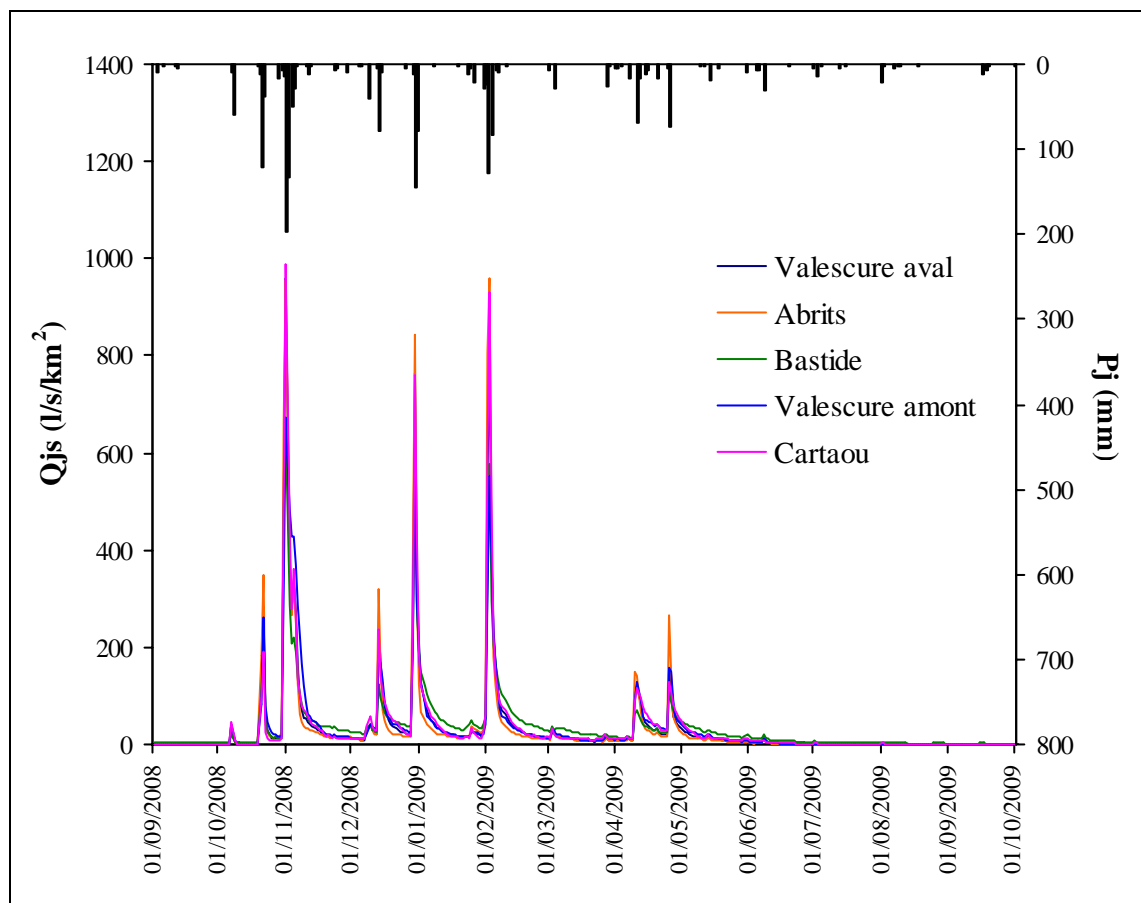


Figure 11 - Valeurs journalières des débits spécifiques des ruisseaux de la Vallée Obscure et des précipitations au Château de la Vallée Obscure en 2008-09.

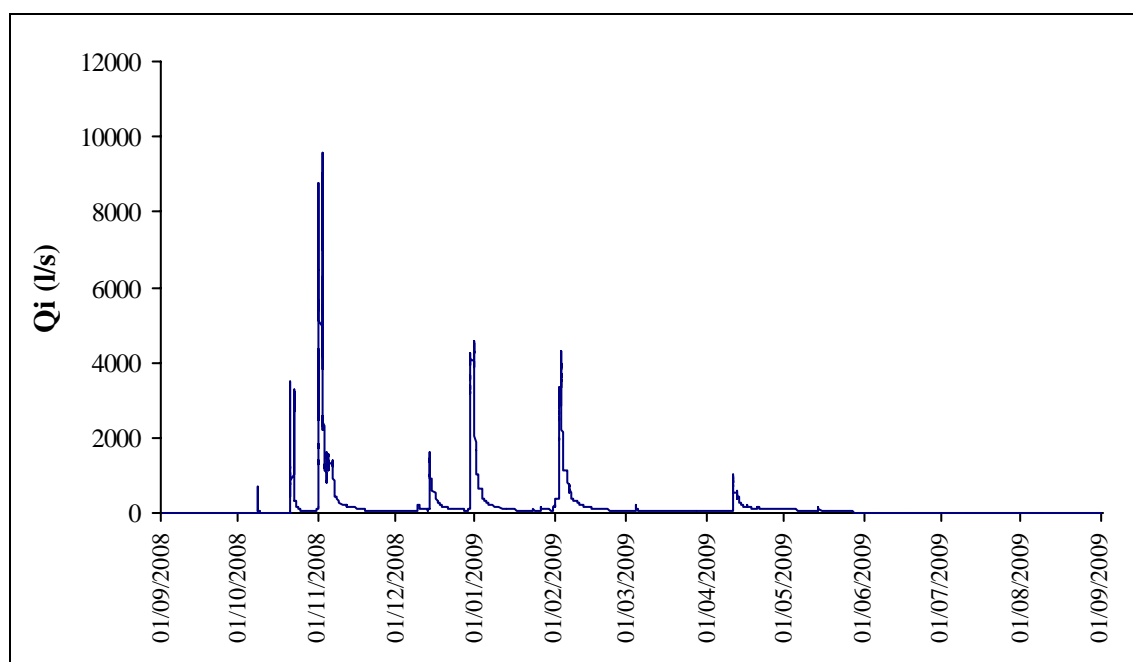


Figure 12 - Débits instantanés du ruisseau de Valescure aval en 2008-09.

Le 2 novembre, les débits maximaux sont atteints à 4h31 à la station des Abrits et à 4h49 à celles du Valescure aval, du Valescure amont et du Cartau. Le ruisseau de la Bastide, pourtant habituellement le moins réactif, connaît son pic de crue principal à 3h43 ; il est ensuite en décrue jusqu'à 5h19 (651 l/s/km²). Dans la partie amont de la Vallée Obscure, le pic principal du ruisseau de la Bastide correspond à des précipitations assez intenses : 22,3 mm tombés en 39 minutes, de 3h04 à 3h43, au poste du Château). En revanche, son écoulement a été peu sensible à la pluie qui a suivi (23,7 mm jusqu'à 4h48) et notamment aux 13,7 mm tombés de 4h08 à 4h48 qui ont donné les pointes principales sur les ruisseaux de Valescure amont et de Cartau.

Au cours de l'hiver, des crues de moindre importance se produisent les 14 et 31 décembre 2008, puis le 2 février 2009.

Enfin, après une récession de deux mois, deux crues d'ampleur beaucoup plus modérée ont lieu les 12 et 26 avril. La crue du 26 avril marque le début d'un étiage qui sera très long.

Comme la précédente, l'année hydrologique 2009-10 commence donc par un étiage sévère qui se prolonge après les précipitations du 6 au 9 octobre (57,6 mm) pour finir avec celles du 20 au 22 octobre (182 mm, dont 110 mm le 21). Toutefois, du fait de l'absence de précipitations abondantes après le 22 octobre, un étiage automnal assez marqué se prolonge jusqu'au 19 décembre (Fig. 13). Une nouvelle recharge des aquifères se produit lors des pluies du 21 au 24 décembre (110 mm en 4 jours). À l'exception de l'épisode du 17 février 2010 – qui reste modeste, et dont la période de retour est inférieure à un an –, l'hiver est marqué par des crues faibles (18 janvier, 26 mars) ou très faibles (Fig. 14). Le dernier épisode pluviométrique assez important se produit du 8 au 13 mai (105 mm, dont 34 mm le 10 mai). Après cet épisode, les précipitations seront insuffisantes pour empêcher le développement d'un étiage qui se prolongera jusqu'au 30 octobre. À cette date, les niveaux restent très bas. Sur la période 2003-2010, les débits n'ont été inférieurs, à cette date, qu'en 2007.

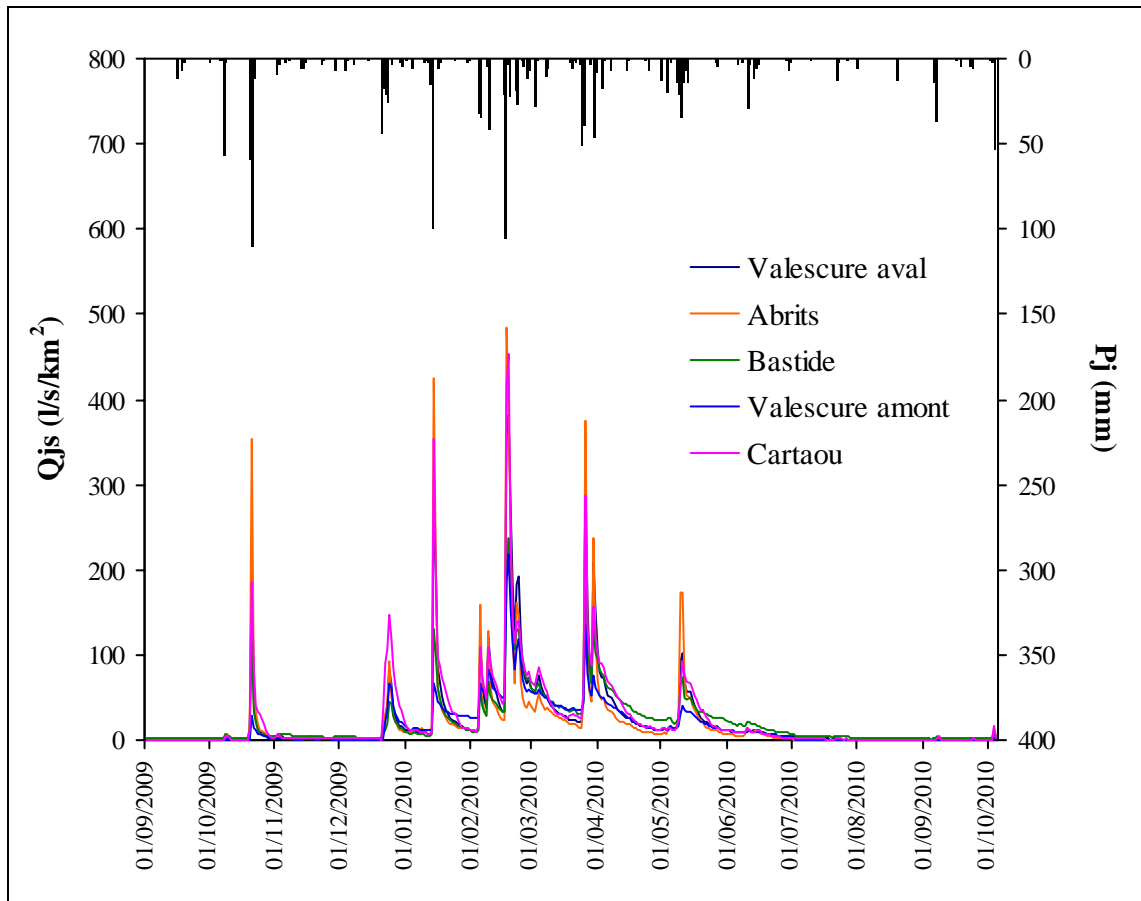


Figure 13 - Valeurs journalières des débits spécifiques des ruisseaux de la Vallée Obscure et des précipitations au Château de la Vallée Obscure du 1^{er} septembre 2009 au 5 octobre 2010.

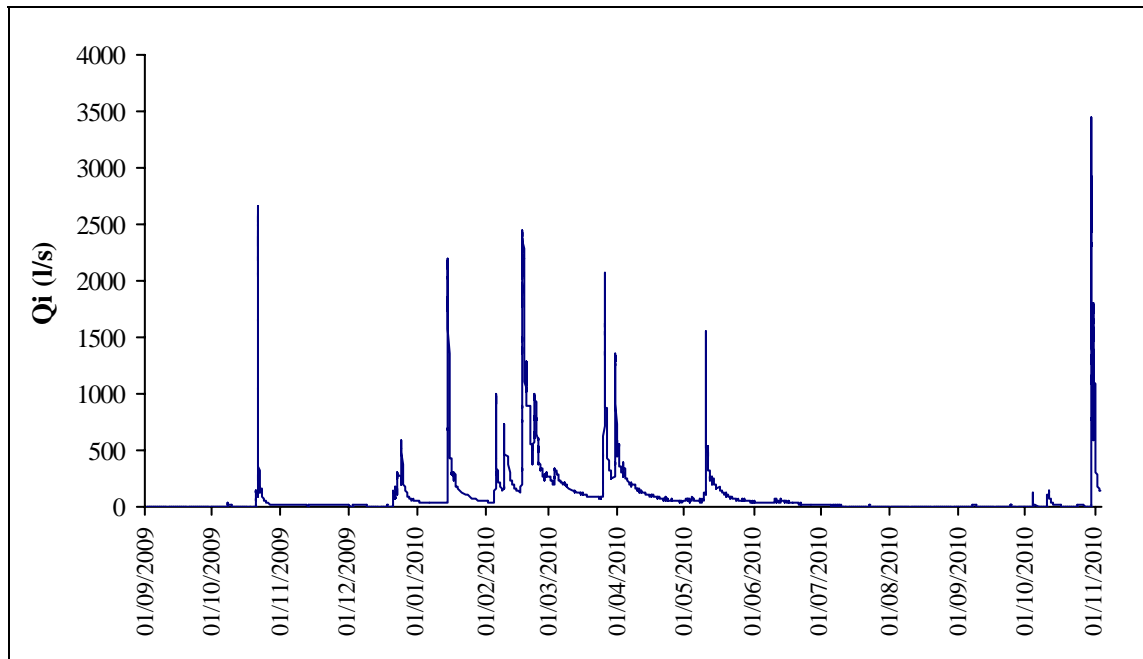


Figure 14 - Débits instantanés du ruisseau de Valescure aval du 1^{er} septembre 2009 au 3 novembre 2010.

Deux crues se partagent les débits instantanés les plus élevés de l'année 2009-10 :

- Le ruisseau des Abrits connaît son débit maximal le 21 octobre (1098 l/s/km^2 à 13h19). Les ruisseaux de Valescure aval (675 l/s/km^2 à 13h13), du Cartaou (538 l/s/km^2 de 11h37 à 11h43) et de la Bastide (351 l/s/km^2 à 13h37) réagissent également assez fortement à des pluies qui atteignent 170 mm les 20 et 21 octobre. La réaction du Valescure amont est beaucoup plus modeste ($76,2 \text{ l/s/km}^2$ à 11h30).
- Le pic principal de l'année est observé le 17 février sur le Valescure amont (342 l/s/km^2 , à 22h15) et sur le ruisseau de la Bastide (368 l/s/km^2 à 22h10) et le 18 février sur le Cartaou (784 l/s/km^2 à 0h13 – après avoir approché cette valeur le 17 à 22h01 : 719 l/s/km^2). Sur le ruisseau des Abrits, le débit atteint 839 l/s/km^2 à 21h55, ce qui témoigne encore de sa réactivité.

La répartition des écoulements au cours de l'année 2008-09 (Fig. 15) est somme toute habituelle, les écoulements les plus abondants s'étant produits en automne, même s'ils ont été tardifs, puisque fortement concentrés en novembre, mois le plus arrosé. L'année 2009-10, en revanche, se révèle particulière (Fig. 16), les précipitations et les écoulements étant faibles en automne et au début de l'hiver. De septembre à décembre, les lames d'eau écoulées vont de 44 mm, pour le Valescure amont, à 122 mm, pour le ruisseau de Cartaou. De ce fait, les valeurs maximales mensuelles se placent en février, mais en restant modestes, pas plus fortes en tout cas qu'en 2008-09.

Une telle situation marquée par une déficience des écoulements d'automne qui laisse ainsi la prédominance à ceux d'hiver, ne s'était pas produite dans la Vallée Obscure depuis le début des mesures en 2003. Mais c'est aussi la première fois qu'elle a été observée sur le Bassin Versant de Recherche Expérimental du Mont Lozère, suivi depuis près de 30 ans, ce qui apporte la preuve de sa rareté.

Les figures 11 et 13 permettent de rappeler des observations faites les années précédentes : d'une part, la réactivité en crue du bassin des Abrits, mais aussi de celui du Cartaou une fois que ses aquifères ont été rechargés, et, d'autre part, le soutien efficace des débits d'étiage du ruisseau de la Bastide. Les figures 17 et 18 font encore mieux ressortir ce dernier point.

Le Valescure amont a connu les étiages les plus sévères. Ce n'est pourtant pas lui qui réagit le plus rapidement aux précipitations en début d'année hydrologique. Il n'y a donc pas de relation simple entre la capacité d'un bassin versant à stocker de l'eau et sa faculté à soutenir les débits d'étiage.

Le ruisseau des Abrits n'a jamais été totalement à sec. Même si les années ont été favorables et si le débit est souvent tombé à une valeur très faible, il semble que les effets de la réhabilitation des *tancats* et surtout de la destruction du couvert végétal, opérations réalisées en 2003-2005 (F. SCHULLER *et al.*, 2007) dans le lit majeur du cours d'eau continuent d'exercer un effet bénéfique (C. MARTIN *et al.*, 2007).

2) Les bilans hydrologiques "entrées - sorties"

Les bilans hydrologiques 2008-09 et 2009-10 sont portés dans le tableau VII, où ils sont comparés à ceux des années précédentes. Les courbes de tarage des stations du Valescure aval, de la Bastide, du Valescure amont et du Cartaou ayant été affinées en 2008-09, les volumes

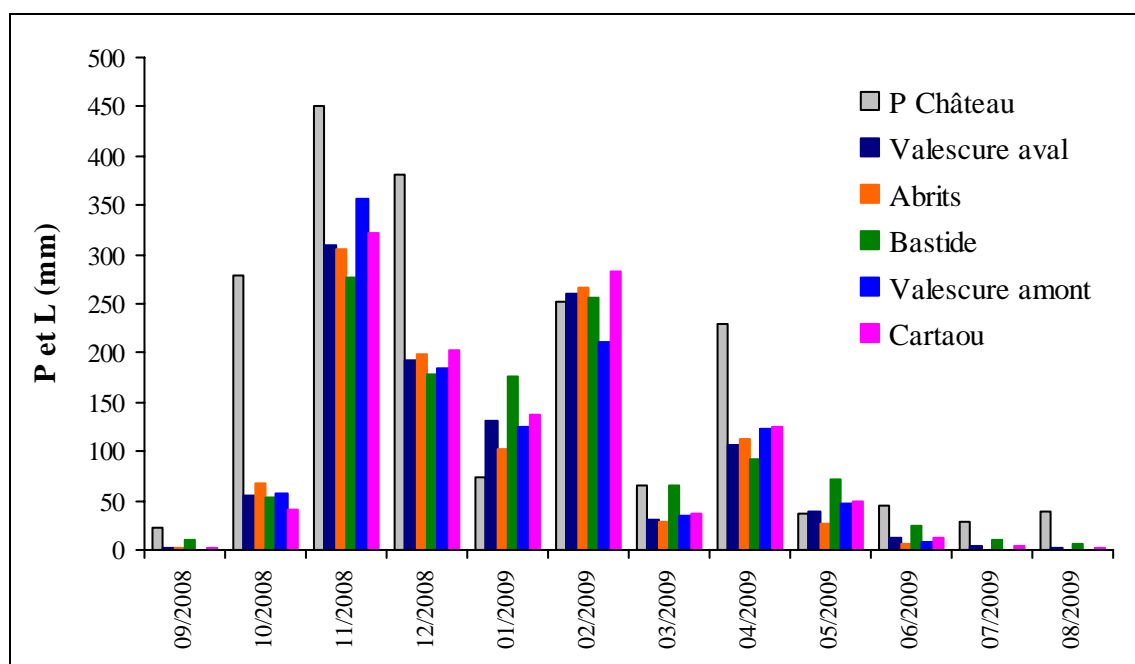


Figure 15 - Lames d'eau écoulées mensuelles (L) par les ruisseaux de la Vallée Obscure et précipitations au Château (P) en 2008-09.

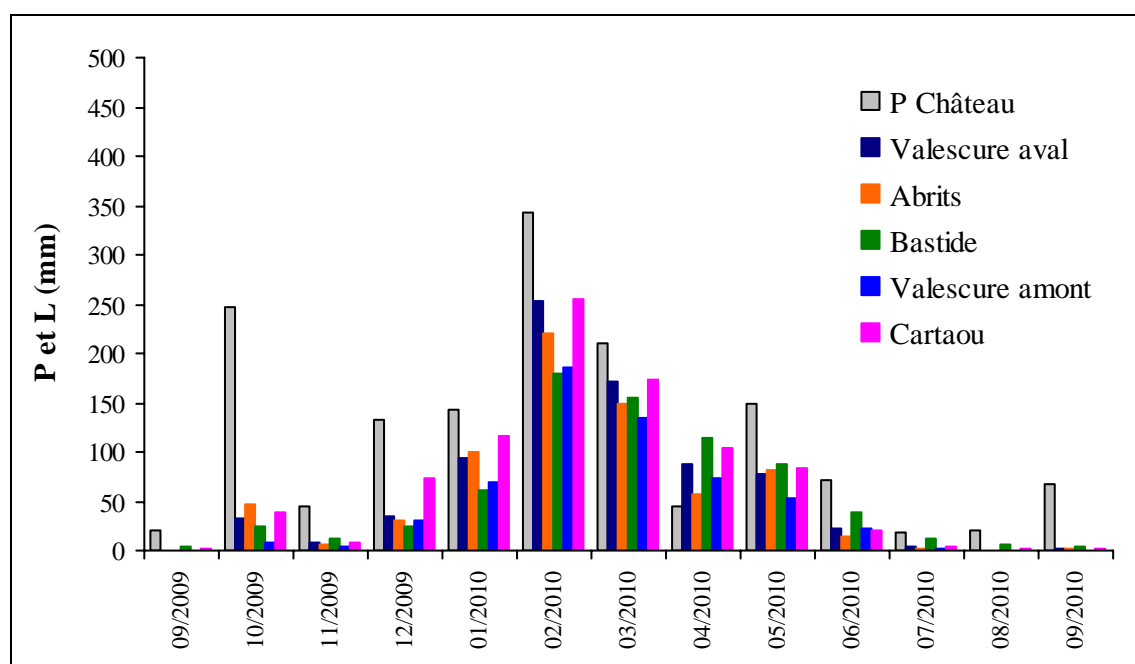


Figure 16 - Lames d'eau écoulées mensuelles (L) par les ruisseaux de la Vallée Obscure et précipitations au Château (P) du 1^{er} septembre 2009 au 30 septembre 2010.

d'eau écoulés présentés pour la période 2003-04 à 2007-08 peuvent différer assez sensiblement de ceux antérieurement calculés. L'amélioration des courbes de tarage se traduit par des écarts beaucoup plus faibles qu'auparavant entre les déficits d'écoulement obtenus par les différents bassins versants.

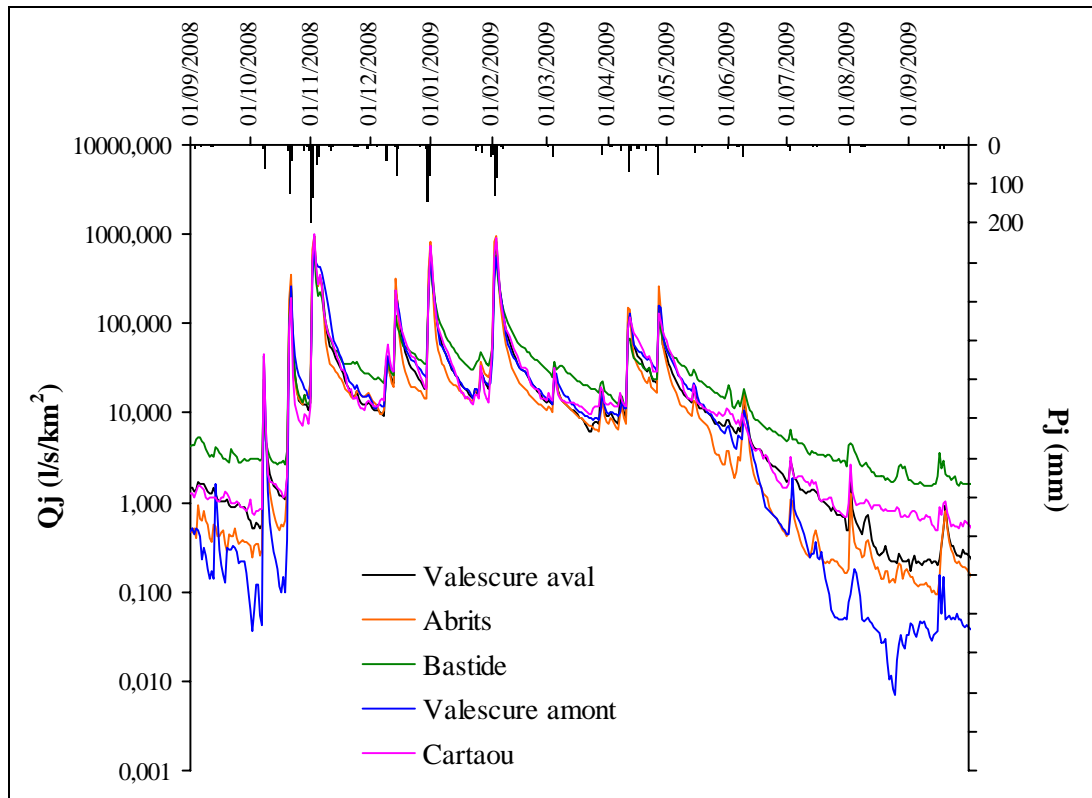


Figure 17 - Débits journaliers des ruisseaux de la Vallée Obscure et précipitations au Château en 2008-09.

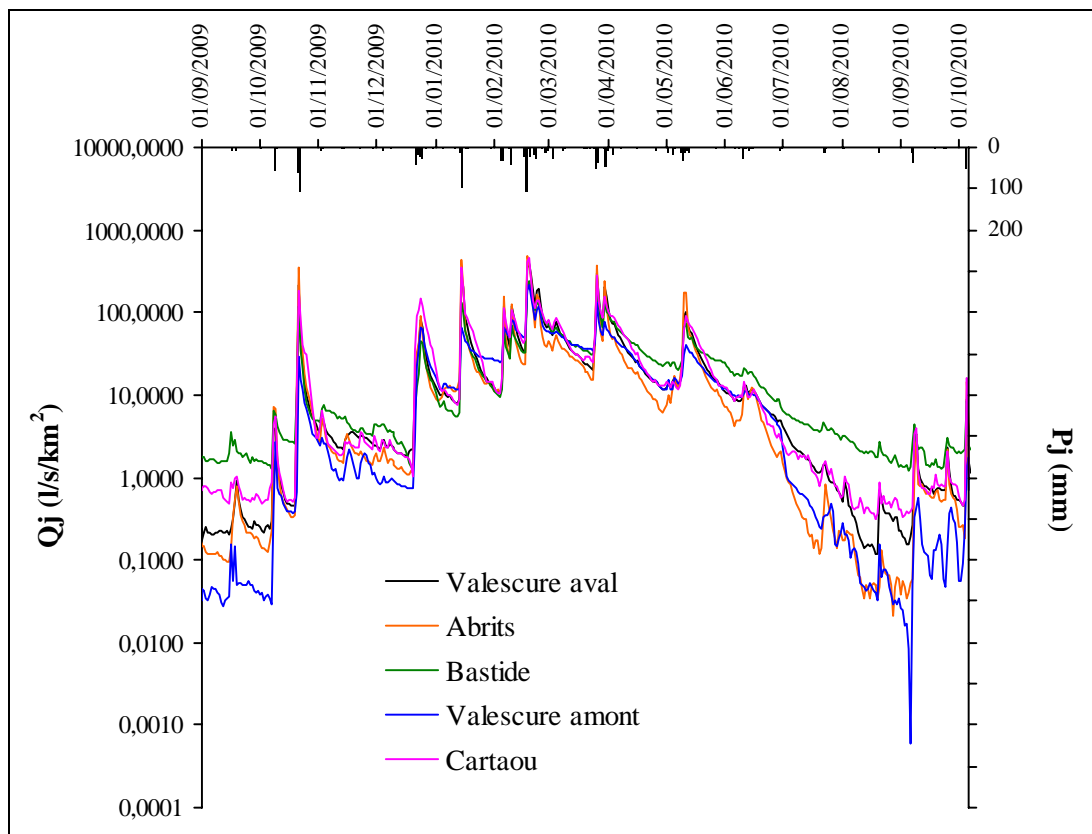


Figure 18 - Débits journaliers des ruisseaux de la Vallée Obscure et précipitations au Château du 1^{er} septembre 2009 au 5 octobre 2010.

Tableau VII - Bilans hydrologiques annuels "entrées - sorties" des bassins versants de la Vallée Obscure, du 1^{er} septembre 2003 au 31 août 2010.

		Valescure aval	Abrits	Bastide	Valescure amont	Cartaou
2003-04	P	2252	2283			2243
	L	1544	1727			1701
	P-L	708	556			542
2004-05	P	801	765	813		813
	L	224	206	179		322
	P-L	577	559	634		491
2005-06	P	1401	1338	1425	1425	1425
	L	874	788	751	779	754
	P-L	527	550	674	646	671
2006-07	P	1497	1499	1497	1497	1497
	L	687	647	625	677	791
	P-L	810	852	872	820	706
2007-08	P	1926	1898	1936	1936	1936
	L	1108	1063	1021	1090	1095
	P-L	818	835	915	846	841
2008-09	P	1860	1723	1905	1905	1905
	L	1144	1118	1224	1150	1219
	P-L	716	605	681	755	686
2009-10	P	1431	1394	1443	1443	1443
	L	786	710	723	585	880
	P-L	645	684	720	858	563
Moyenne 2005-10	P	1595	1557	1503	1641	1609
	L	920	865	869	856	948
	P-L	675	692	634	785	661

P : précipitations (mm). L : lame d'eau écoulée (mm). P-L : déficit d'écoulement (mm).
P Valescure aval : $(0,75 \times \text{P poste Château}) + (0,25 \times \text{P poste Valescure aval})$. P Abrits : P poste Valescure aval. P Bastide, P Valescure amont et P Cartaou : P poste Château.

Sur la période commune d'observation allant de septembre 2005 à août 2010, 2008-09 présente les écoulements les plus abondants (+24 % par rapport à la moyenne dans le cas du Valescure aval), alors que 2009-10 se situe à la dernière ou l'avant dernière position pour tous les bassins versants (-15 % par rapport à la moyenne dans le cas du Valescure aval). En 2008-09, année humide, les lames d'eau les plus fortes ont été écoulées par les ruisseaux de la Bastide et du Cartaou. En 2009-10, année relativement sèche, ce sont les ruisseaux du Valescure aval et du Cartaou qui ont évacué le plus d'eau. Au cours de cette même année, le Valescure amont s'est distingué par un écoulement très faible.

Les données recueillies sur le Valescure amont en 2009-10 sont difficilement compréhensibles au regard de ceux obtenus antérieurement, notamment lors d'années ayant connu des précipitations voisines (Tab. VII). La comparaison des lames d'eau écoulées chaque mois par les bassins du Valescure aval et du Valescure amont (Fig. 19) met en évidence des différences qui peuvent être parfois importantes, mais qui sont particulièrement fréquentes au détriment du Valescure amont en 2009-10 (avec un écart cumulé sur l'année de 201 mm). Pour des années aux précipitations voisines de celles de 2009-10, on ne retrouve pas une telle situation en 2005-06 (sauf en novembre) et en 2006-07. De nouveaux jaugeages seront effectués

pour vérifier que la station n'a pas subi un détarage, mais cette hypothèse paraît fragile dans la mesure où la station présente un seuil rocheux. La modestie des épisodes pluviométriques en 2009-10, et donc l'absence de fortes crues, pourrait être l'explication des différences avec 2005-06 et 2006-07.

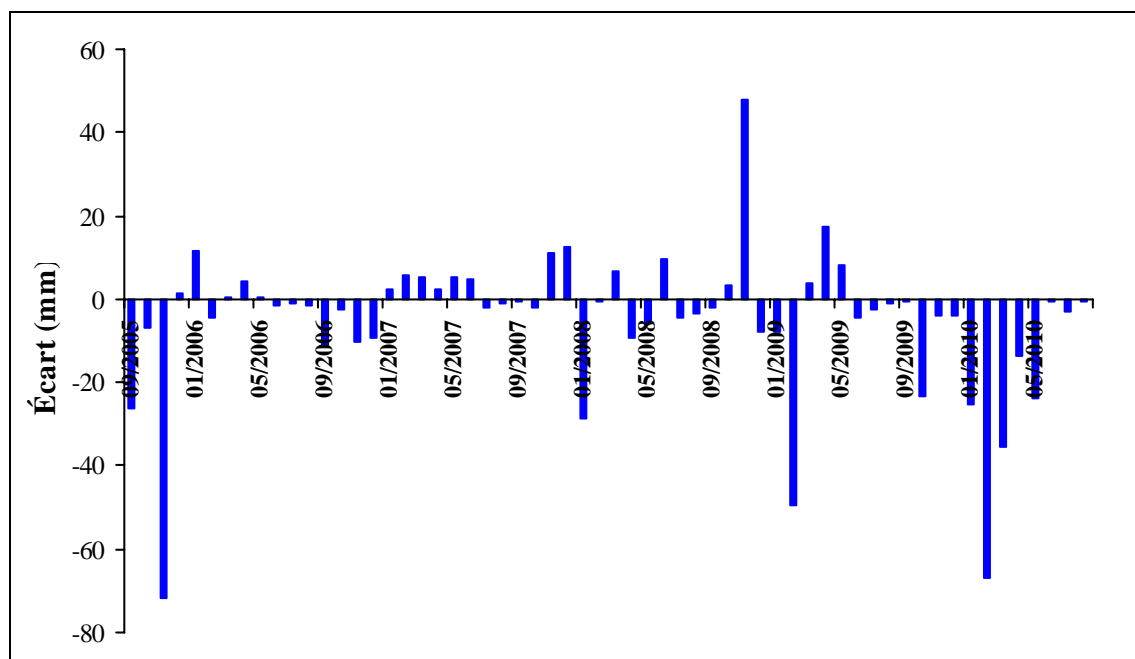


Figure 19 - Écarts entre les lames d'eau écoulées mensuelles par les ruisseaux du Valescure amont et du Valescure aval (amont - aval) sur la période 2005-06 - 2009-10.

Le déficit d'écoulement cumule l'évapotranspiration et la différence entre les stocks d'eau présents dans le bassin au début et à la fin des observations (aux erreurs de mesure près). Sur la période septembre 2005 - août 2010, les valeurs annuelles moyennes sont assez proches pour tous les bassins versants, puisqu'elles vont de 703 mm, pour le bassin du Valescure aval, à 783 mm pour celui du Valescure amont (Tab. VII). En revanche, pour chaque bassin, les différences sont fortes d'une année à l'autre et, pour chaque année, des écarts sensibles apparaissent entre les bassins, et pas seulement dans le cas du Valescure amont en 2009-10. Il est vrai que les risques d'erreur sur les précipitations et sur les débits s'ajoutent pour le déficit d'écoulement. Mais les conditions pluviométriques (abondance des précipitations, répartition dans l'année, concentration en quelques épisodes) associées aux caractères des bassins (chacun étant hétérogène) peuvent expliquer les résultats.

Il reste, en tout cas, que les déficits d'écoulement annuels ne sont pas liés à l'ETP TURC (Fig. 20).

II - LES DÉBITS DE LA SOURCE DU CHÂTEAU

1) Les données

Les mesures ont débuté le 9 avril 2009 et ne couvrent donc complètement que l'année hydrologique 2009-10.

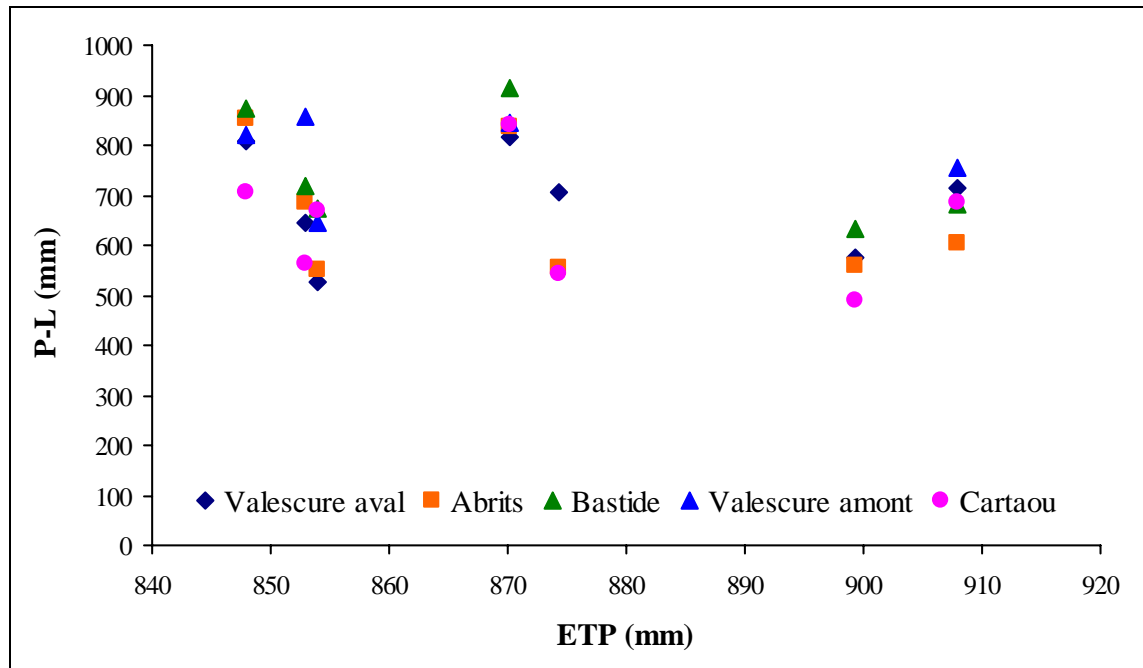


Figure 20 - Représentation des déficits d'écoulement annuels des bassins versants de la Vallée Obscure en fonction de l'ETP TURC.

De mars à début octobre, le niveau de l'eau dans le bassin subit chaque jour des fluctuations de plusieurs millimètres, ce qui correspond à des variations non négligeables du débit (Fig. 21). Ces fluctuations résultent, pour l'essentiel, des prélèvements d'eau par la végétation immédiatement en amont de la source. Elles sont particulièrement sensibles en été. La présence d'un très beau châtaignier en bordure du bassin contribue certainement à cette situation. Pour compléter l'information, la figure 22 présente les débits journaliers.

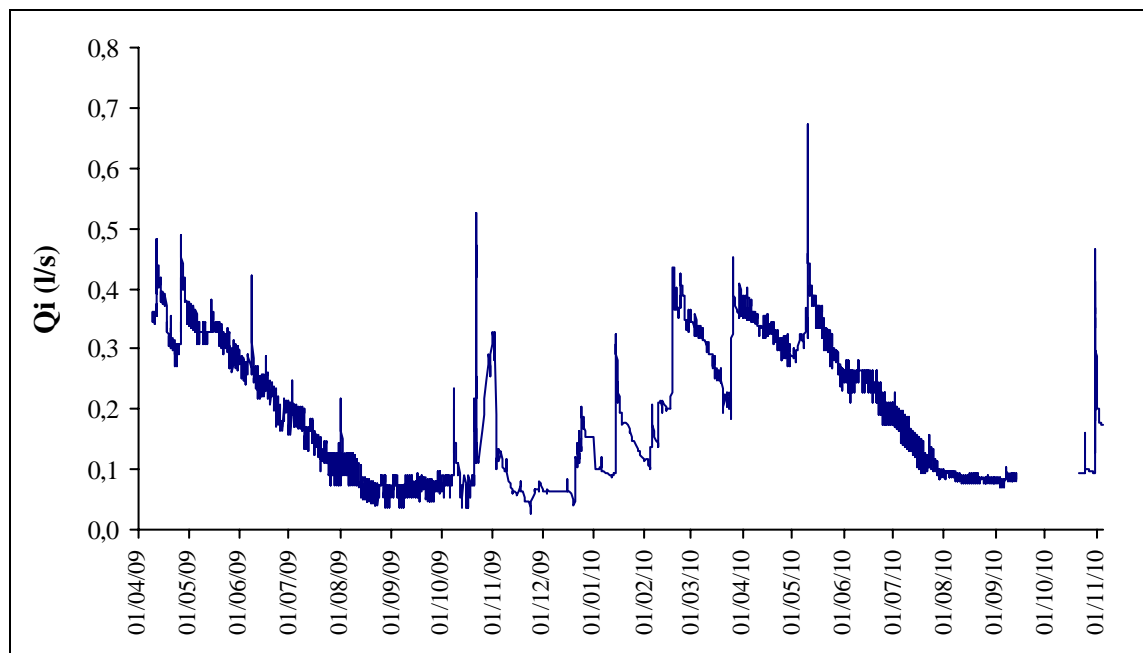


Figure 21 - Débits instantanés de la source du Château de la Vallée Obscure, du 9 avril 2009 au 4 novembre 2010.

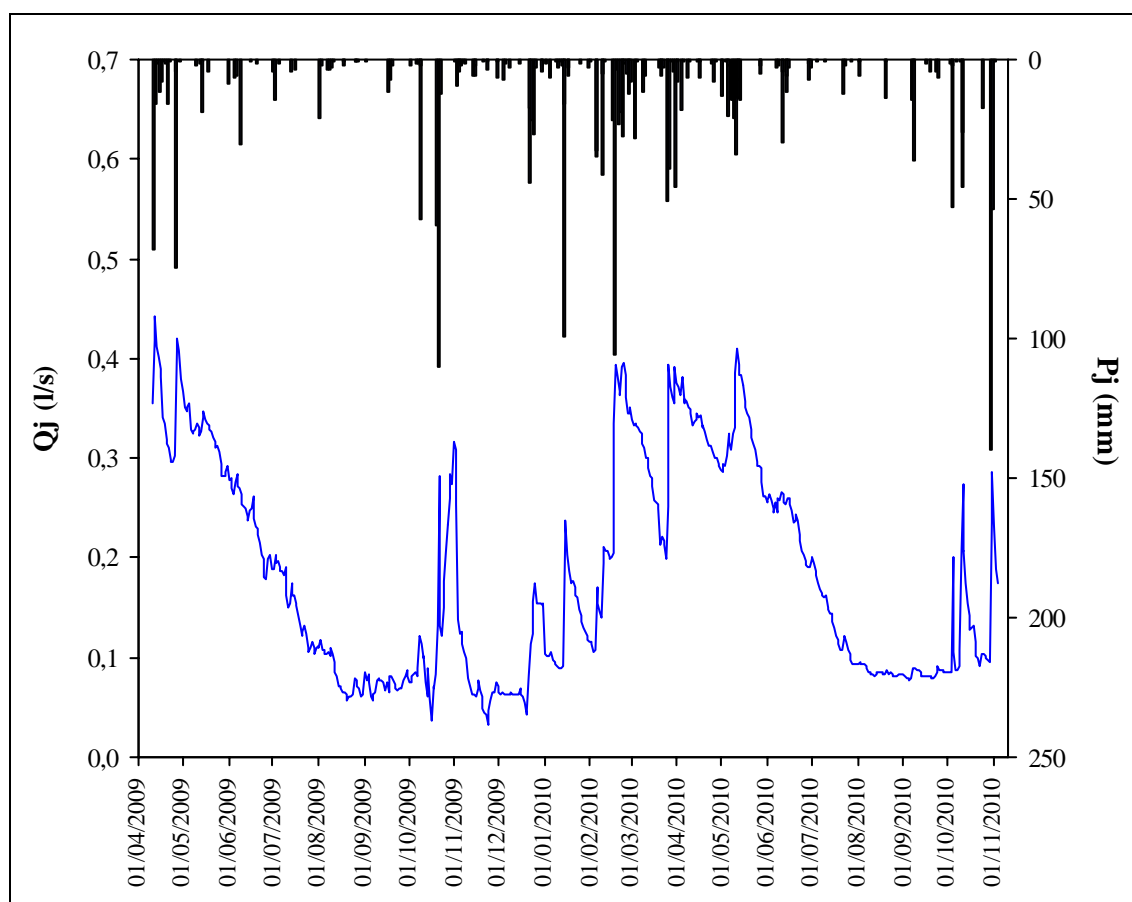


Figure 22 - Débits journaliers de la source du Château et précipitations au Château du 10 avril 2009 au 3 novembre 2010. La lacune visible sur la figure 19 a été comblée par comparaison avec les données du ruisseau de la Bastide.

Fin avril 2009, l'écoulement de la source répond nettement à des précipitations abondantes. Ainsi le débit passe-t-il de 0,29 l/s le 25 avril à 20h00 à 0,49 l/s le 26 à 13h20. Jusqu'au 21 octobre 2009, cette valeur restera la plus forte obtenue. Les précipitations des 25 et 26 avril (79 mm) provoquent une recharge efficace de l'aquifère, ce qui se traduit ensuite sur la pente de la courbe de récession.

La longue récession qui se produit ensuite jusqu'à fin septembre, est à peine interrompue par de petites réactions aux pluies d'été. Globalement, le débit baisse régulièrement jusqu'à la fin août. Puis, en l'absence de pluies abondantes, les écoulements restent très faibles, inférieurs à 0,1 l/s, jusqu'au 20 octobre.

Enfin, les pluies abondantes du 20 au 22 octobre (182 mm) provoquent une réaction du niveau de la source. Mais celle-ci reste modeste, les précipitations ayant servi en partie à humecter les sols et les roches altérées encore très secs après les pluies du 6 au 9 octobre (65 mm). La figure 23 montre qu'à la station de suivi de l'humidité des sols par sondes TDR du Château de la Vallée Obscure, l'humidité volumique des sols a augmenté d'une valeur proche de 10 % entre le 20 octobre et la fin du ressuyage.

Après cet épisode, l'écoulement redevient très faible. Le 18 novembre à 10h00, un jaugeage donne une valeur de 0,084 l/s, identique à celle mesurée le 3 septembre à 12h20 (0,085 l/s), et le débit continue ensuite à baisser. Il est mesuré 0,074 l/s les 25 novembre et le

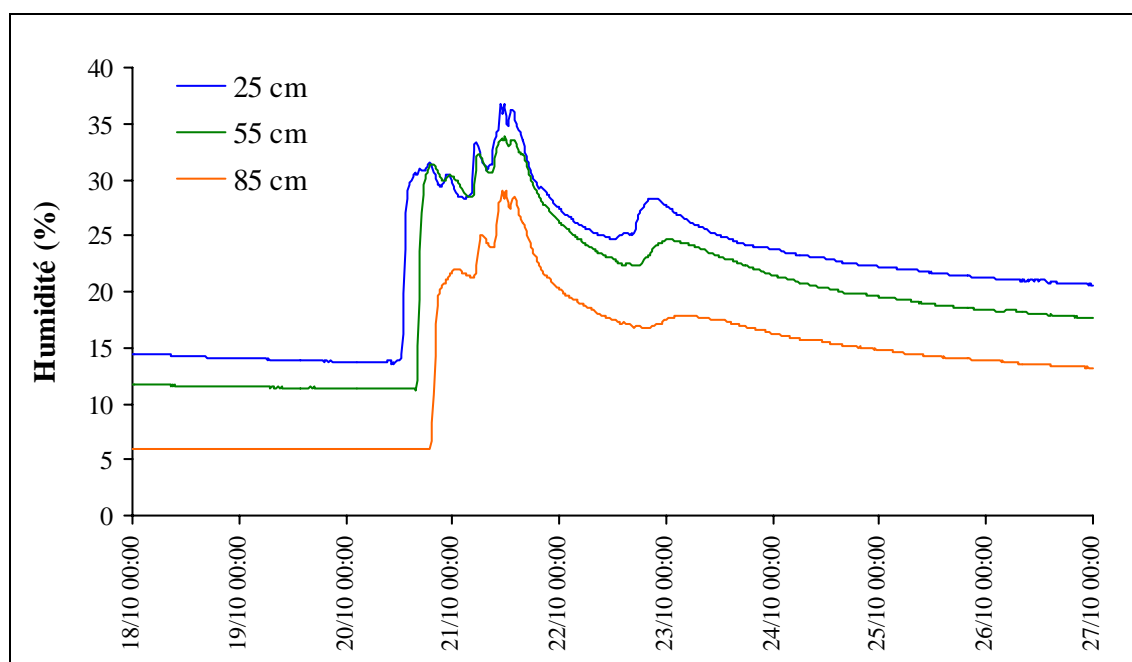


Figure 23 - Variations de l'humidité volumique des sols sur le profil G3 de la station TDR du Château de la Vallée Obscure du 18 au 26 octobre 2009 (profondeurs de 25, 55 et 85 cm).

1^{er} décembre, puis 0,073 l/s le 15 décembre, valeur très proche des plus faibles débits jaugés lors de l'étiage 2009 (0,071 l/s le 15 septembre à 15h00 et le 1^{er} octobre à 13h00).

Il faut attendre le début de l'hiver pour que la recharge s'amorce, très lentement, à la faveur des 110 mm de pluie du 21 au 24 décembre. Quinze jours plus tard, le 5 janvier, avec une pluviométrie cumulée de 127 mm depuis le 21 décembre, le débit jaugé est de 0,105 l/s (valeur voisine de celles – 0,103 l/s – trouvées le 31 juillet et le 12 août 2009 !). Le débit de base remonte progressivement après chaque épisode pluvieux de l'hiver, pour atteindre 0,200 l/s à compter du 9 février 2010, après des précipitations de 279 mm du 31 janvier au 6 février. Il s'est maintenu au-dessus de cette valeur jusqu'au 10 juillet.

Sous l'effet de certaines précipitations, le débit peut croître brusquement. Ce fut particulièrement le cas lors de la petite crue du 10 mai 2010 (Fig. 24). Dans ce cas, il s'agissait d'une réponse à une pluie d'orage très violente, du fait de circulations d'eau se produisant à proximité de la source. Alors qu'il est tombé près de 68 mm du 8 au 10 mai, sous l'effet d'une averse de 25 mm qui s'est abattue de 15h54 à 16h00 avec une intensité de 130 mm/h, le débit a doublé en 40 minutes pour atteindre 0,67 l/s à 16h10. Deux heures plus tard, il était redescendu à 0,48 l/s. Les précipitations du 11 mai (13,8 mm) n'ont provoqué aucune réaction sensible, le débit diminuant même très légèrement, passant de 0,44 l/s à 0h00 à 0,40 l/s environ à 24h00.

Au cours de l'été 2010, l'écoulement est en forte baisse (voir figure 20). Le débit journalier passe en dessous de 0,09 l/s le 7 août. Il ne retrouvera pas une valeur plus élevée avant le début octobre. La valeur minimale (0,078 l/s) a été enregistrée le 5 septembre. Malgré les précipitations du 2 au 4 octobre (57 mm), des 10 et 11 octobre (72 mm) et du 24 octobre (17 mm), auxquelles la source a certainement réagi (voir Fig. 20 – mais les débits sont reconstitués du 13 septembre au 21 octobre), de très faibles débits se retrouveront tout au long de ce mois, comme en témoignent les jaugeages : 0,083 l/s le 13 septembre ; 0,085 l/s le

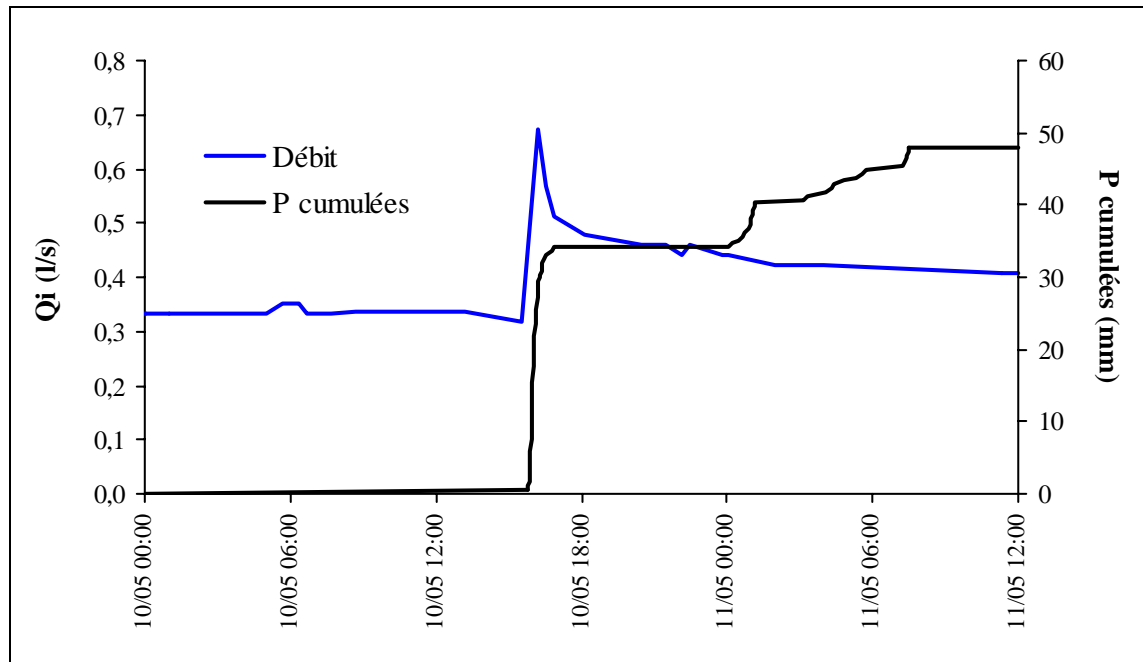


Figure 24 - Débit de la source du Château et précipitations cumulées les 10 et 11 mai 2010.

6 octobre ; 0,082 l/s le 21 octobre ; 0,083 l/s le 22 octobre et 0,085 l/s le 25 octobre. L'étiage prend définitivement fin avec les pluies du 30 octobre au 1^{er} novembre (195 mm, dont 140 le 30 octobre).

2) Comparaison des écoulements de la source et du ruisseau de la Bastide

Le bassin versant de la Bastide présente une faible superficie (0,27 km²) et ses écoulements relativement abondants en étiage témoignent de l'intervention efficace d'aquifères profonds. Il nous a donc semblé intéressant de comparer ses écoulements journaliers à ceux de la source du Château.

Les écoulements journaliers de la source et du ruisseau apparaissent liés par une loi de type exponentiel (Fig. 25), les lames d'eau écoulées journalières maximales de la source semblant limitées à 4 mm environ. La relation n'est cependant pas univoque. En ne traitant que les périodes du 10 avril au 20 octobre 2009 et du 10 avril au 4 octobre 2010, on obtient une seule relation, de bonne qualité (Fig. 26).

Dans l'immédiat, nous éviterons d'interpréter finement la position et la dispersion des points du 21 octobre 2009 au 9 avril 2010 (Fig. 27). Une partie d'entre eux, en haut à droite de la figure, entreraient dans la relation établie sur la figure 25. Les autres semblent se rattacher à des situations de deux types ; d'une part, de forts écoulements à la source, alors que le ruisseau de la Bastide présente un débit presque constant (en haut à gauche de la figure – ce qui correspond à la fin octobre et au tout début novembre 2009) ; d'autre part, des écoulements à la source relativement faibles par rapport à ceux du ruisseau, si l'on se réfère aux données des autres périodes.

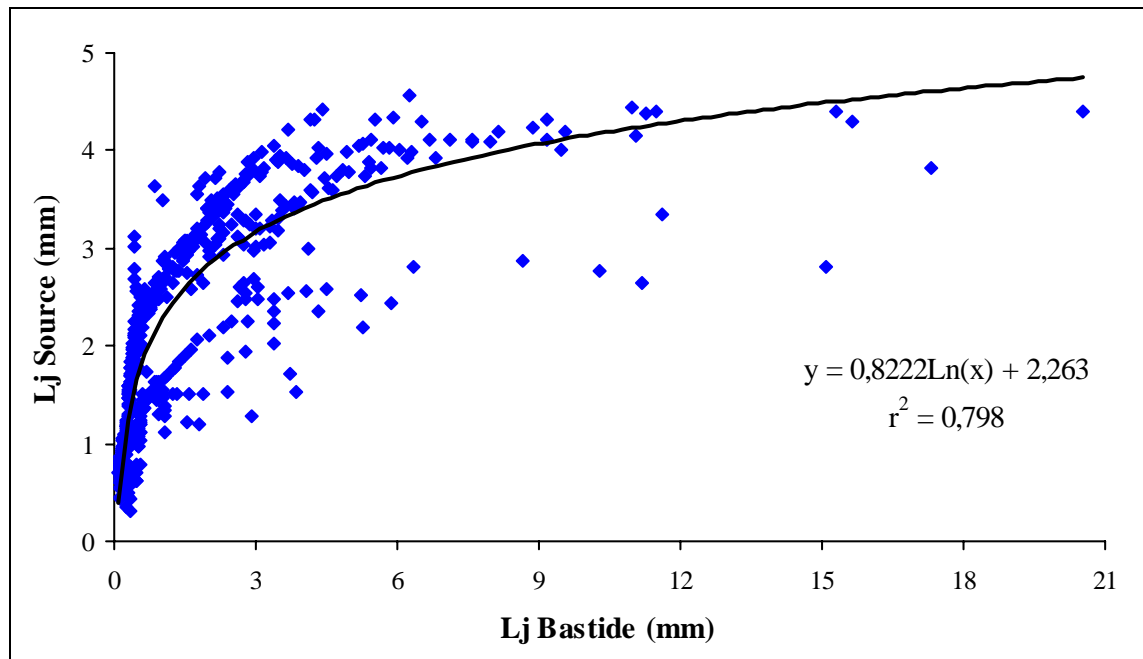


Figure 25 - Relation entre les écoulements journaliers de la source du Château et du ruisseau de la Bastide du 10 avril 2009 au 2 novembre 2011.

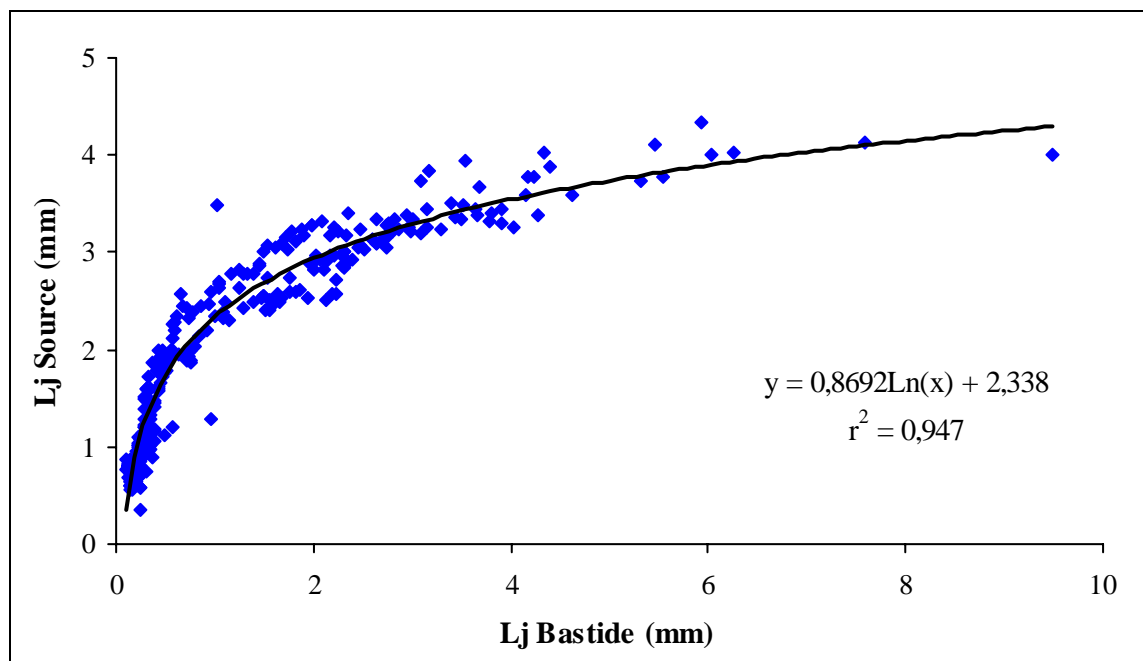


Figure 26 - Relation entre les écoulements journaliers de basses eaux de la source du Château et du ruisseau de la Bastide, du 10 avril au 20 octobre 2009 et du 10 avril au 4 octobre 2010.

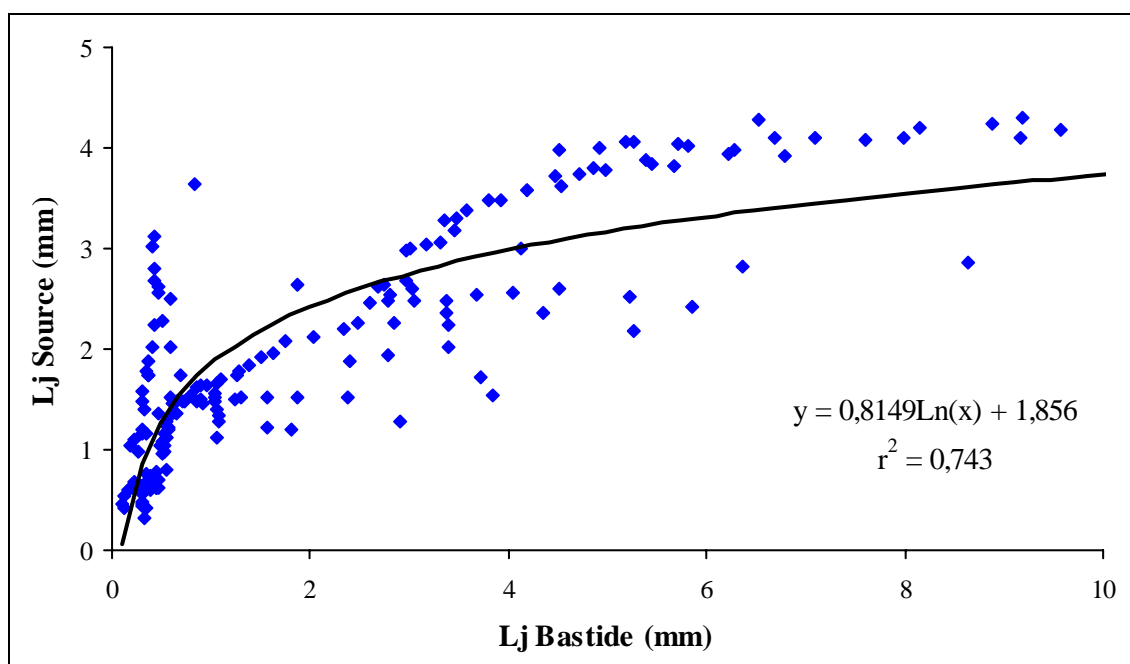


Figure 27 - Relation entre les écoulements journaliers d la source du Château et du ruisseau de la Bastide du 21 octobre 2009 au 9 avril 2010 et du 5 octobre au 2 novembre 2010.

3) Les écoulements mensuels et annuels

Pour le moment, la source du Château n'a été suivie que sur une seule année hydrologique complète, 2009-10 (Tab. VIII). Les lames d'eau correspondant aux écoulements effectués au cours de cette année par la source et par le ruisseau de la Bastide sont comparées sur la figure 28.

Tableau VIII - Lames d'eau écoulées mensuelles par la source du Château de la Vallée Obscure en 2009-10 et comparaison avec les précipitations au Château et les écoulements du ruisseau de la Bastide.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Année
P	21,4	247	44	134	143	343	211	44,7	149	71	17,5	20,0	1444
Source	21,7	40,4	26,1	27,5	54	84	107	114	115	86	56	29,3	761
Bastide	4,7	25,1	12,5	25,3	62	180	155	115	88	38,6	11,8	5,7	723

Même si la superficie de la zone d'alimentation de la source n'est pas connue de façon extrêmement précise, la première remarque qui s'impose concerne la faible différence entre les lames d'eau écoulées par la source et par le ruisseau de la Bastide. Dans l'hypothèse où l'évapotranspiration s'exercerait de façon à peu près semblable sur le bassin de la source (en exposition est) et sur celui du ruisseau de la Bastide (en exposition ouest), il semblerait donc que la quasi-totalité des précipitations tombées sur son bassin d'alimentation transite par la source.

En début d'année hydrologique, les premières précipitations abondantes n'entraînent pas de différences très grandes entre la source et le ruisseau. La lame d'eau écoulee par le ruisseau

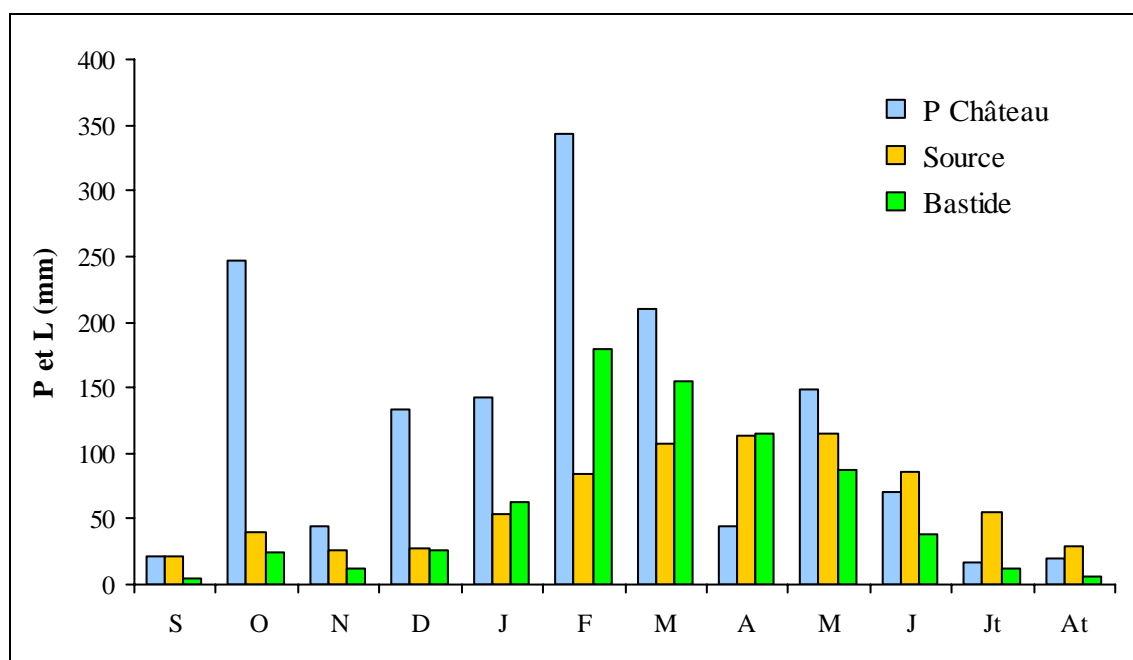


Figure 28 - Précipitations mensuelles au Château de la Vallée Obscure et lames d'eau écoulées par la Source du Château et par le ruisseau de la Bastide en 2009-10.

de la Bastide, plus faible que celle de la source de septembre à octobre, lui devient cependant égale en décembre et la dépasse légèrement en janvier. Les mois de février et mars, relativement pluvieux, surtout février, voient les écoulements du ruisseau dépasser largement ceux de la source. À partir d'avril (faiblement arrosé), la situation commence à s'inverser, la source ayant ensuite des écoulements plus abondants que le ruisseau de mai à août (et cette situation se maintiendra en septembre et octobre).

Après 19 mois d'observation, il est possible d'estimer de façon fiable les quantités d'eau fournies par la source du Château. En fin d'automne et/ou en hiver, lorsque l'aquifère est plein, les débits (proches de 0,5 l/s) fournissent plus de 30 m³ d'eau par jour. Les volumes écoulés en étiage sont évidemment beaucoup plus faibles (Fig. 29).

Les écoulements moyens sont encore assez forts en juillet (12,9 m³/j en 2009 ; 11,8 m³/j en 2010). Les valeurs les plus faibles ont été obtenues en août (7,1 m³/j en 2009 ; 7,4 m³/j en 2010) et en septembre (6,4 m³/j en 2009 ; 7,2 m³/j en 2010). Les mois de novembre et de décembre 2009 ont également présenté des écoulements journaliers inférieurs à 8 m³/j en moyenne (7,7 et 7,8 m³/j respectivement).

Les volumes écoulés journaliers minimaux ont été enregistrés le 23 novembre en 2009 (2,75 m³/j, mais avec 3,75 m³/j le 22 et 4,0 m³/j le 24) et le 5 septembre en 2010 (6,74 m³/j). La persistance de la période d'étiage bien au delà de la fin de l'été joue à cet égard un rôle important. En effet, dans un secteur où les formations superficielles sont épaisses, des pluies d'automne peu abondantes n'apportent pratiquement rien à l'aquifère.

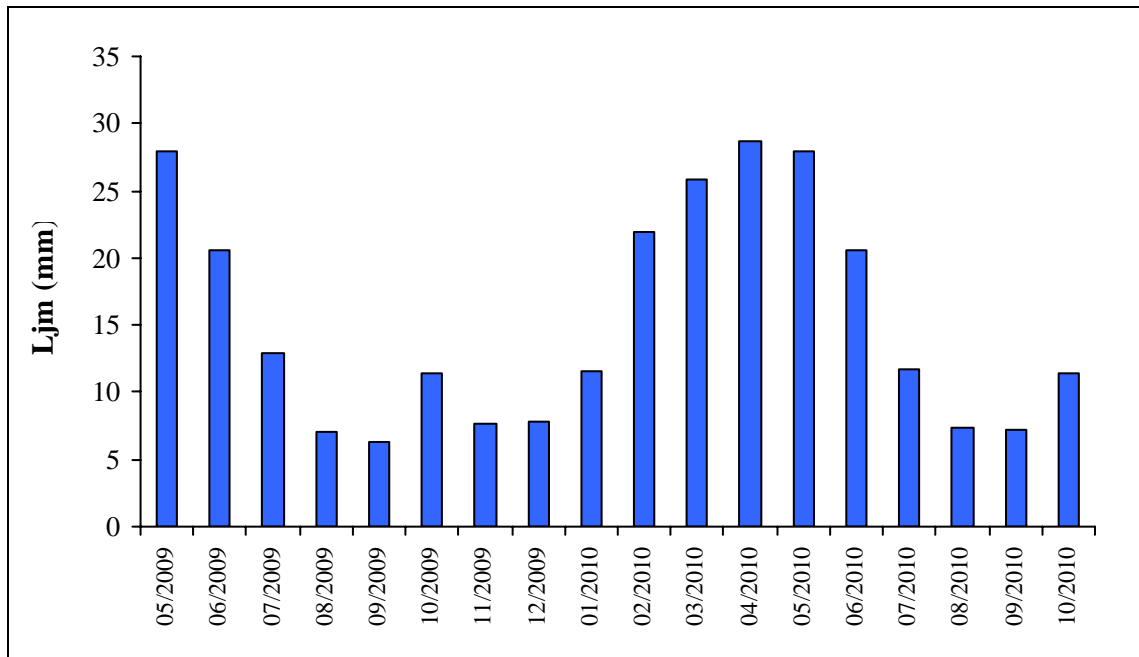


Figure 29 - Valeur journalière moyenne des volumes d'eau écoulés par la source du Château de la Vallée Obscure au cours des mois de mai 2009 à octobre 2010.

Pour autant, compte tenu de la très faible inclinaison de la courbe de tarissement, il faudrait des conditions exceptionnelles, avec un étiage extrêmement long, pour que la source tarisse. Cela ne s'est pas produit depuis le début des années 1980 (N. GOMEZ, communication orale), même en 2004-05 où les conditions ont été très dures (431 mm de pluie au Château de novembre à août (10 mois, avec des précipitations supérieures à 100 mm uniquement en avril : 105 mm – P totales : 343 mm). Si l'on se réfère aux précipitations mesurées à Saint-Jean-du-Gard depuis 1888, l'année 2004-05 apparaît comme l'une des plus propices, et sans doute même la plus propice, à un étiage extrêmement sévère : 343 mm de pluie de novembre à août.

III - ESSAI DE RECONSTITUTION DES LAMES D'EAU ÉCOULÉES MENSUELLES DU RUISSEAU DE LA BASTIDE EN AOÛT

Dans un rapport précédent (C. MARTIN *et al.*, 2008), nous avons trouvé une excellente relation entre les précipitations au cours de l'année et la lame d'eau écoulee au mois d'août. Nous avons repris cette idée, mais avec beaucoup moins de réussite (Fig. 30).

Les valeurs calculées de l'écoulement en août ont été déterminées à l'aide d'une équation établie à partir des données recueillies de 2003-04 à 2007-08 :

$$L \text{ (mm)} = (0,006691 \times P1) + (0,01599 \times P2) - 5,479$$

ou P1 représente les précipitations de septembre à mars et P2 celles d'avril à juin.

Les valeurs mesurées en 2009 et 2010 se positionnent très mal par rapport à la droite de régression établie sur la période 2004-2008. Or une comparaison attentive de la répartition des précipitations mensuelles en 2008-09 et 2009-10 par rapport aux années précédentes n'apporte aucun élément d'explication probant. Par ailleurs, si un décalage de quelques millimètres de

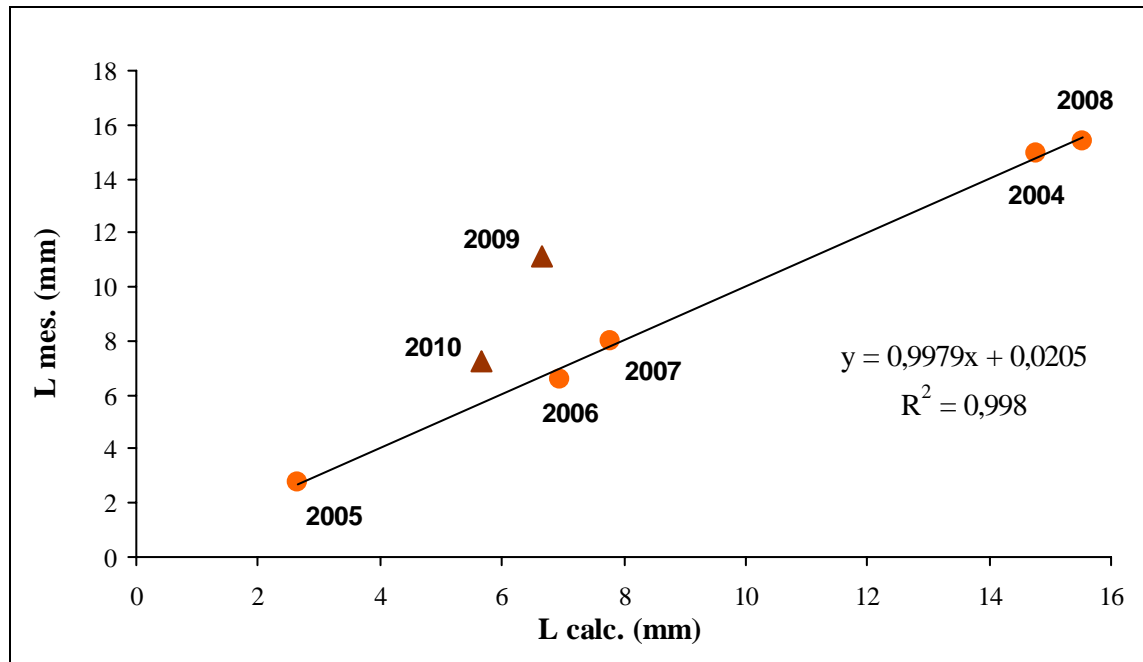


Figure 30 - Comparaison pour le ruisseau de la Bastide des valeurs mesurées (L. mes.) et calculées (L. calc.) des lames d'eau écoulées au mois d'août au cours des années 2004 à 2008.

l'échelle ou du seuil suffirait à rendre compte du positionnement des points, cette hypothèse n'est pas confirmée par les quatre jaugeages effectués en 2009 entre le 31 juillet et le 1^{er} octobre pour des débits allant de 0,70 à 0,40 l/s.

La cause de la relative abondance des écoulements d'étiage en 2008-09 et 2009-10 doit donc bien être recherchée dans la répartition des précipitations, mais aux échelles mensuelle et journalière. Ces deux années n'ont pas connu de précipitations journalières très abondantes. De plus, les averses n'ont jamais été très violentes. Ces conditions se sont du reste traduites par des crues extrêmement modestes. Ainsi les eaux précipitées ont-elles participé au mieux à l'alimentation des aquifères.

IV - LE GARDON DE SAINT JEAN À PEYROLLES

1) La chronique 2009-2010

Bien que la station implantée à Peyrolles soit conçue pour le suivi des étiages estivaux, la modestie des précipitations tombées en 2009-10 a permis de laisser le matériel en place une grande partie de l'année. La centrale d'enregistrement et la sonde ont bien été enlevées juste avant deux épisodes de crue, mais elles ont été remises en place immédiatement après. La chronique 2009-10 est donc quasiment complète (Fig. 31), à défaut – comme nous le verrons – d'être totalement satisfaisante.

Le Gardon présente des variations de débit synchrones de celles du Valescure aval. Toutefois les débits spécifiques de pointe de crue se révèlent très faibles par rapport à ce que l'on observe dans la Vallée Obscure. Le fait que le plus haut débit jaugé sur le Gardon atteigne

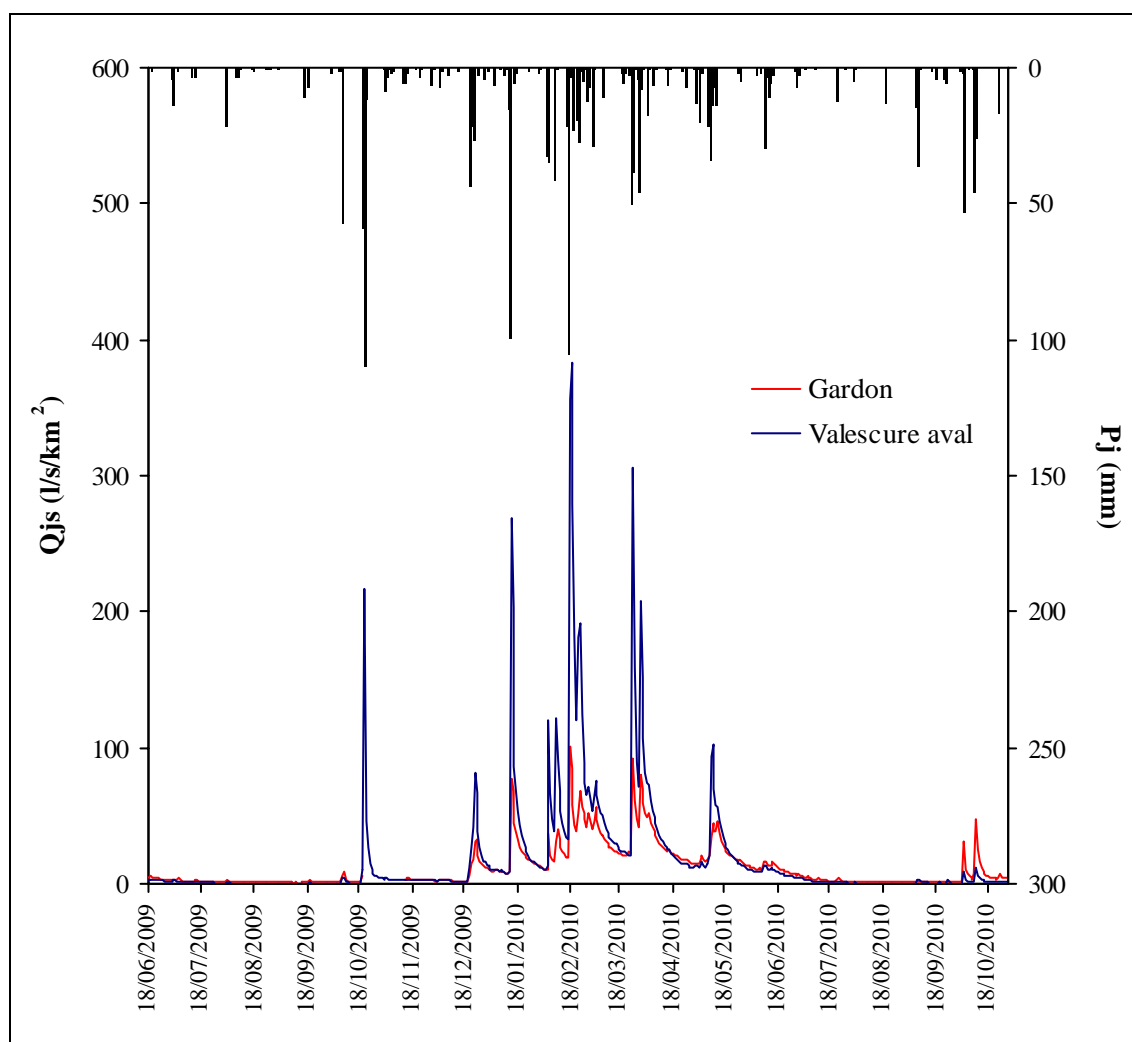


Figure 31 : Débits journaliers spécifiques du Gardon de Saint-Jean à Peyrolles et du ruisseau de Valescure du 20 juin 2009 au 2 novembre 2010.
(Pj : précipitations journalières au Château de la Vallée Obscure)

80 l/s/km² seulement, ne suffit pas à éclairer la question, puisque la cote correspondant à ce débit n'a que très rarement été dépassée. Qui plus est, la courbe de tarage de la station de Peyrolles a été tracée pour minimiser autant que possible les écarts avec le Valescure en hautes eaux.

Il faut donc se rendre à l'évidence : la courbe de tarage actuellement disponible pour le Gardon est très suspecte pour les plus forts débits de la période d'observation. Certes, nous ne connaissons pas les précipitations sur la partie amont du bassin du Gardon de Saint-Jean, mais la comparaison entre les lames d'eau écoulées chaque mois par le Gardon et par les ruisseaux de Valescure aval et de la Bastide donne nettement à considérer que les débits du Gardon sont sous-estimés en très hautes eaux, en particulier en février et mars 2010 (Tab. IX), surtout que le déficit creusé au cours de ces deux mois n'est en rien compensé au cours des mois suivants.

Tableau IX - Valeurs mensuelles des lames d'eau écoulées par le Gardon de Saint-Jean à Peyrolles et par les ruisseaux de Valesure aval et de la Bastide de juillet 2009 à septembre 2010.

	Jt	At	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S
P	26	40	19	242	44	134	143	343	211	45	149	71	18	20	68
G	5,5	3,8	3,0	-	-	20	53	91	101	73	62	29	8,4	3,5	3,3
V	3,3	1,1	0,7	32,3	7,9	35	94	253	171	88	77	22	4,6	0,9	2,2
B	10,1	6,7	4,7	25	13	25	62	180	155	115	88	39	12	5,7	5,0

P : précipitations au Château de la Vallée Obscure (mm). G : Gardon de Saint-Jean à Peyrolles. V : Valesure aval. B : Bastide. - : données manquantes.

Quoi qu'il en soit, l'hydrogramme montre une évolution identique à celle décrite pour les différents bassins de la vallée Obscure. L'étiage 2009 est très prononcé jusqu'à la crue du 20 octobre 2009, laquelle est suivie d'une longue période de récession jusqu'au 23 décembre. Les écoulements les plus forts se produisent du 24 décembre à la fin mai. Après une phase de récession, l'étiage 2010 s'amorce fin juin et se prolonge jusqu'au 30 octobre.

2) Les informations sur les crues

Si les débits de crue sont mal connus pour le Gardon, il est en revanche possible de considérer le décalage de temps entre ses pics de crue principaux et ceux des cours d'eau de la Vallée Obscure, le Valesure aval par exemple. Les résultats obtenus pour les cinq principales crues enregistrées sur la période d'observation sont portés dans le tableau X.

Tableau X - Heures auxquelles ont été enregistrées les pics principaux des 5 plus importantes crues de l'hiver 2009-10 sur le Gardon de Saint-Jean et sur le ruisseau de Valesure.

Date	Gardon à Peyrolles		Valesure aval	
	heure	Qis	heure	Qis
24/12/2009	23h21	50	18h13	150
14/01/2010	15h24	119	15h18	547
17/02/2010	15h25	115	13h54	498
30/03/2010	11h12	102	08h54	341
10/05/2010	16h31	47	17h00	392

1 : fin de récession. 2 : pic de crue. Qis : débit instantané exprimé en l/s/km².

Les décalages de temps entre les pics de crue du Valesure aval et du Gardon sont compris entre -30 minutes, le 10 mai 2010 (seul épisode où le pic s'est produit d'abord sur le Gardon) et 5h08, le 24 décembre. L'hétérogénéité spatiale des précipitations et la taille des bassins versants expliquent que le pic soit généralement plus précoce sur le Valesure aval, mais sans empêcher une exception à cette "règle".

La crue du 14 janvier 2010 n'est pas loin de se rattacher à cette exception. Cela laisse évidemment planer un doute sur l'abondance des précipitations dans la partie amont du bassin du Gardon. Dans le même ordre d'idée, le décalage de temps n'a été que de 1h31 le 17 février.

3) Les étiages

Les valeurs minimales annuelles des débits instantanés atteignent 89 l/s en 2009, le 13 septembre à 13h00, et 109 l/s en 2010, le 30 août (Fig. 32 et 33). Ces valeurs sont supérieures aux 77 l/s mesurés au plus fort de l'étiage 2005, le 4 septembre.

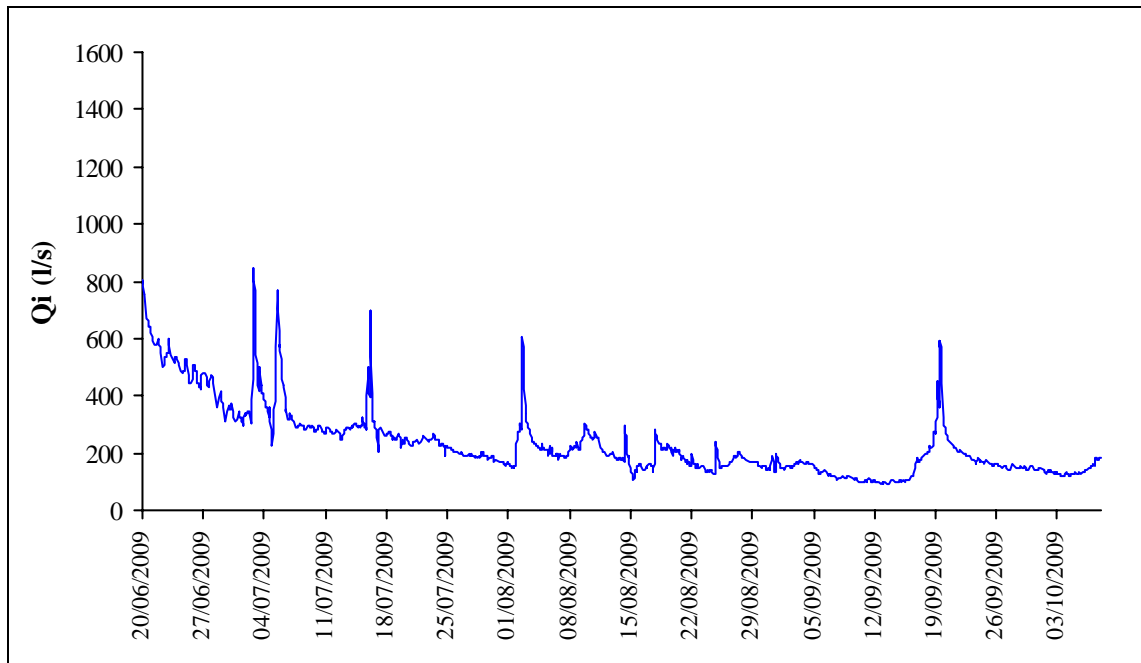


Figure 32 - Hydrogramme du Gardon à Peyrolles du 20 juin (0h) au 7 octobre (24h) 2009.

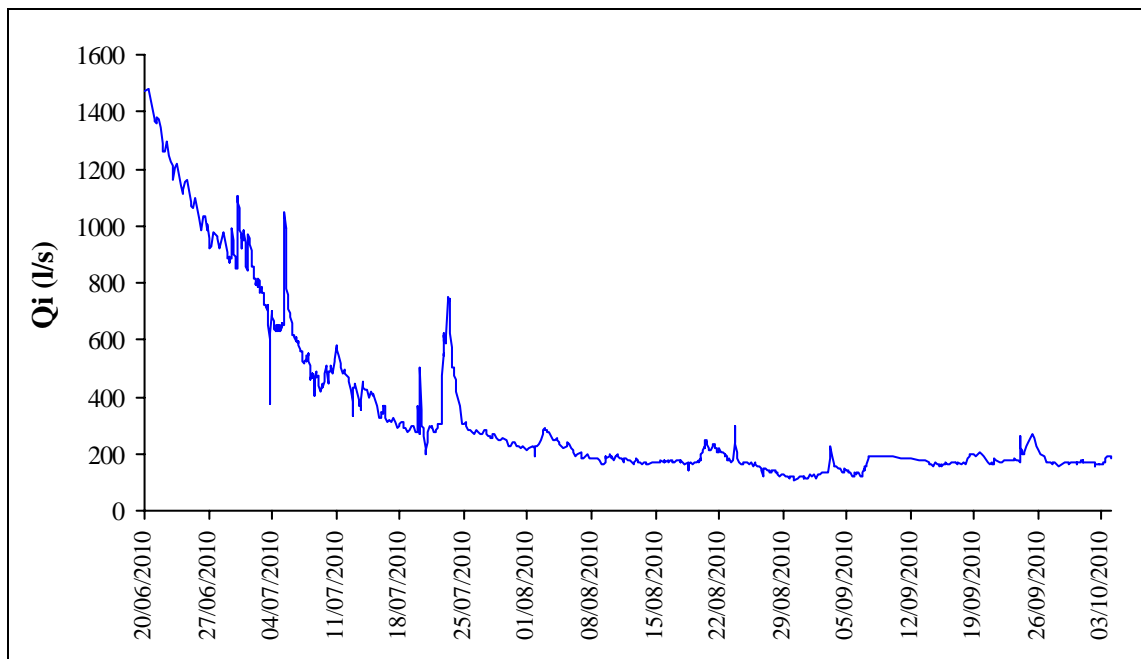


Figure 33 - Hydrogramme du Gardon à Peyrolles du 20 juin (0h) au 3 octobre (24h) 2010.

Les hydrogrammes du Gardon de Saint-Jean montrent plusieurs diminutions de débit surprenantes, rapides et sensibles, dont les effets se font sentir pendant plusieurs heures. Elles se produisent souvent à la fin d'une petite décrue et revêtent un caractère pour le moment énigmatique, même si elles sont vraisemblablement liées à des prélèvements. La plus spectaculaire a été observée le 3 juillet 2010 (Fig. 33).

La comparaison des débits journaliers spécifiques du Gardon de Saint-Jean avec ceux des ruisseaux de Valescure aval et de Bastide (Fig. 34 et 35) fait ressortir les éléments suivants :

- Les débits spécifiques du Gardon sont supérieurs à ceux du Valescure de 0,5 l/s/km² au moins, même pour les débits les plus faibles. Ils sont en revanche nettement plus faibles que ceux du ruisseau de Bastide.
- Pour autant, les cours d'eau présentent une augmentation de débit en réponse à toutes les précipitations assez fortes enregistrées au Château de la Vallée Obscure. On notera que, très logiquement, à la différence de ce qui se passe pour les crues plus importantes, le pic de crue du Gardon est décalé de plusieurs heures par rapport à celui des cours d'eau de la Vallée Obscure.
- Les 6 et 11 juillet 2009 et le 5 juillet 2010, du fait de l'hétérogénéité spatiale des pluies, le Gardon connaît une augmentation de débit qui ne se produit pas dans la Vallée Obscure. Son pic du 5 juillet 2010, par exemple, est consécutif à des précipitations orageuses (29 mm à Soudorgues, 12 mm à Saint-Jean-du-Gard) qui ont très peu touché la Vallée Obscure (1,5 mm).

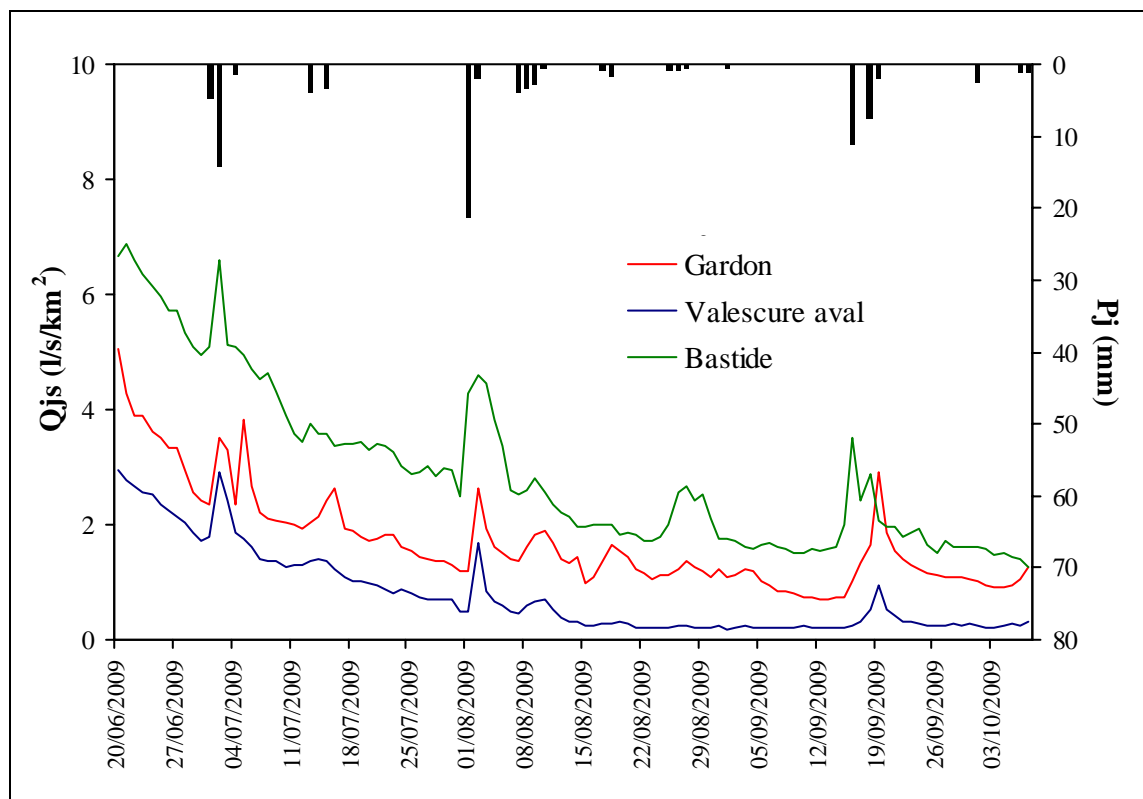


Figure 34 - Évolution des débits journaliers spécifiques du Gardon et des ruisseaux de Valescure aval et de la Bastide durant l'été 2009. (Pj : précipitations journalières au Château)

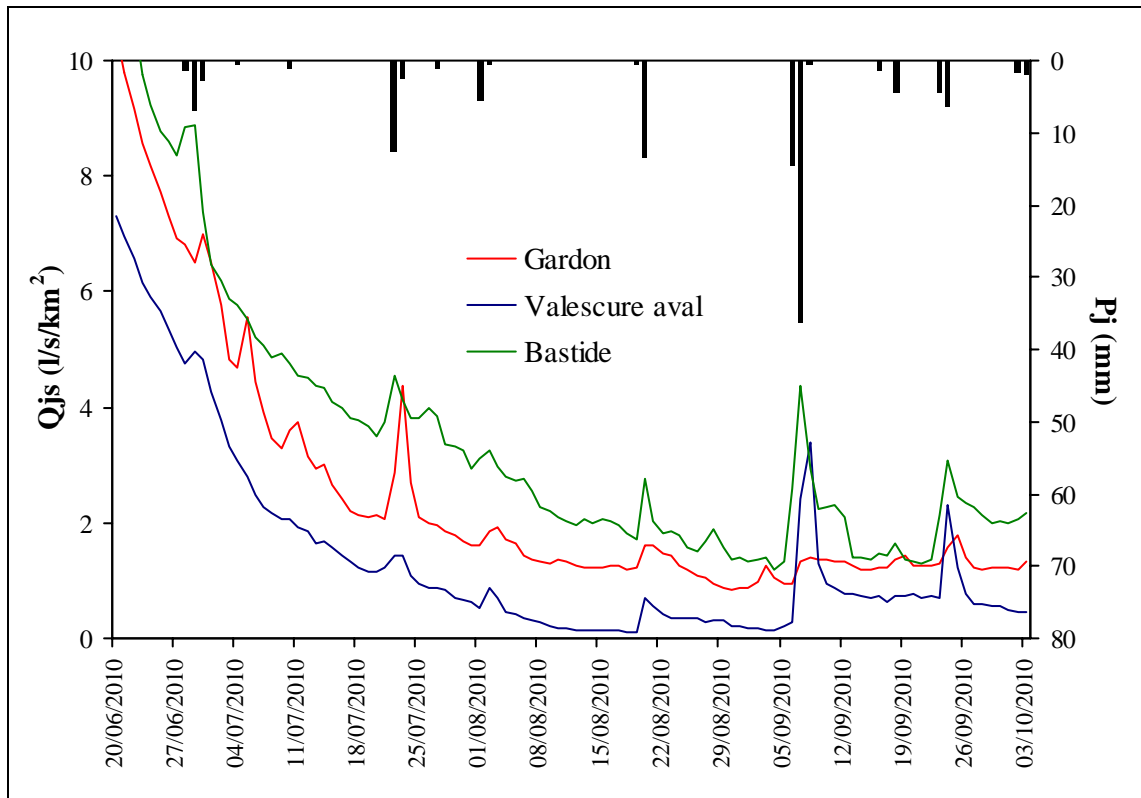


Figure 35 - Débits journaliers spécifiques du Gardon et des ruisseaux de Valescure aval et de la Bastide durant l'été 2010. (P_j : précipitations journalières au Château)

V : CONCLUSION

Les recherches sur les étiages menées dans la Vallée Obscure et sur le Gardon de Saint-Jean ont mis en évidence des situations difficiles certaines années, surtout lorsque les précipitations abondantes se font longtemps attendre en automne.

Dans ce type de situation, la présence de stations hydrométriques fournissant des données fiables en basses eaux est indispensable pour assurer une bonne gestion et donc la meilleure préservation possible des écoulements. Au delà de l'information acquise en temps réel, ces stations sont à même d'anticiper les évolutions dans le cas d'une absence de précipitations, par extrapolation de la courbe de tarissement. Cet aspect, qui pourrait avoir des applications utiles, n'a pas encore été développé dans le secteur d'étude.

La figure 36 donne l'exemple de la courbe de tarissement du Gardon de Saint-Jean à Peyrolles pour la période du 17 juillet au 6 septembre 2010. Selon la relation exponentielle trouvée entre le débit et le temps, en l'absence de précipitations abondantes, le débit journalier spécifique aurait pu passer en dessous de 0,5 l/s/km² (soit 69 l/s) au 80^{ème} jour, donc le 4 octobre. Les précipitations des 6 et 7 septembre (51 mm au Château de la Vallée Obscure) ont heureusement interrompu cette évolution.

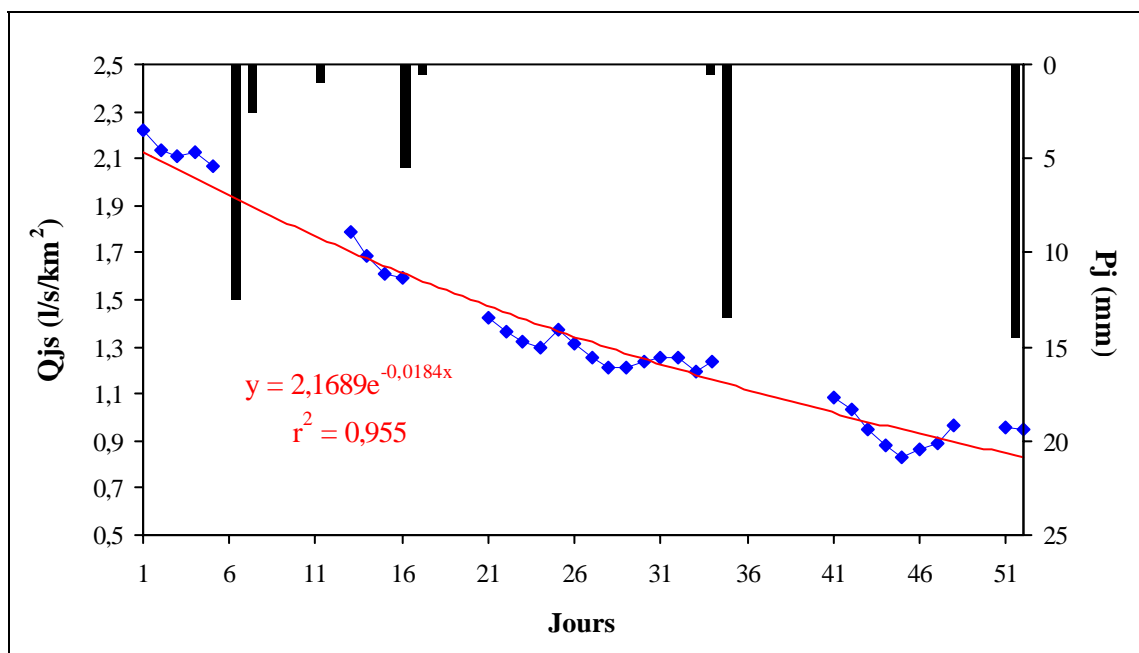


Figure 36 - Débits journaliers spécifiques du Gardon de Saint-Jean à Peyrolles du 17 juillet au 6 septembre 2010, exception faite des valeurs influencées par de modestes écoulements, sans doute localisés, faisant suite à de faibles précipitations.

Les investigations ont, par ailleurs, confirmé ou illustré deux points qui doivent être soulignés :

- D'une part, la persistance des effets bénéfiques, certes modestes, mais réels, que les travaux de forestage et de réhabilitation ont eus sur les écoulements d'étiage du ruisseau des Abrits.
- D'autre part, la présence dans les bassins versants de sources, comme celle du Château, qui ont un caractère pérenne, même lorsque les conditions climatiques sont extrêmement difficiles, comme en 2004-05. Avec les jaugeages réalisés du 30 juin au 13 septembre 2010 (Fig. 37), sur une période pendant laquelle le total des précipitations a été de 67,5 mm, donc insuffisant pour assurer la moindre recharge de la nappe, deux courbes de tendance peuvent être retenues pour le tarissement. Selon la courbe de type puissance, en régime non influencé et en prenant le 20 juin comme premier jour, le débit passerait en dessous de 0,05 l/s au 351^{ème} jour. Avec la courbe logarithmique, le passage en dessous de 0,05 l/s se ferait au 166^{ème} jour, soit le 2 décembre.

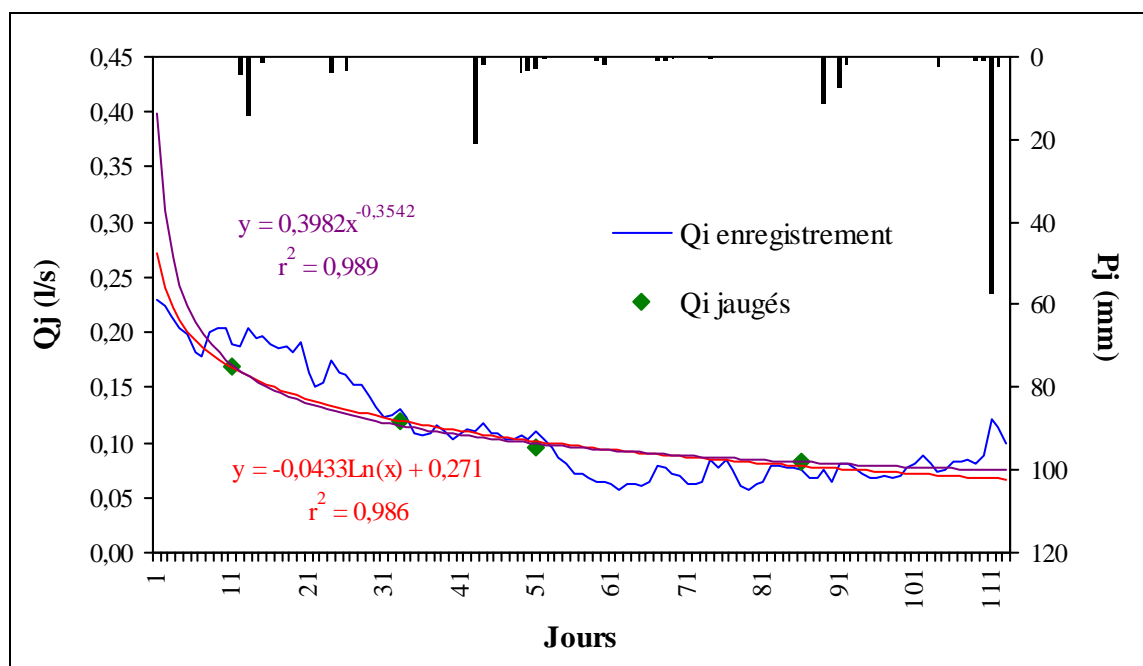


Figure 37 - Débits journaliers de la source du Château et précipitations au Château du 20 juin au 10 octobre 2010.

Pour finir, nous avons souhaité donner une représentation graphique à nos commentaires sur les données pluviométriques de la station Météo-France de Saint-Jean-du-Gard. Pour chaque année de 1889 à 2009, nous avons donc estimé la valeur minimale du débit journalier spécifique à l'exutoire d'un bassin versant identique à celui de la Bastide et recevant les précipitations mesurées à Saint-Jean-du-Gard.

La relation présentée dans le paragraphe III du chapitre IV, qui permet d'évaluer la lame d'eau écoulee en août, a servi de base à notre démarche. Ses limites sont évidentes, mais elle offre l'intérêt de donner une image assez fidèle des conditions d'étiage les plus sévères.

Nous avons en outre tenu compte de l'évolution de l'écoulement jusqu'à la fin août et au cours des mois suivants, en utilisant un coefficient de diminution fonction des précipitations de l'année hydrologique précédant l'étiage.

Dans le cas de précipitations abondantes en août ou en juillet et août, nous avons d'abord déterminé la lame d'eau écoulee en août sans faire jouer les précipitations d'août ou de juillet-août, valeur à partir de laquelle nous avons extrapolé l'écoulement à la fin de l'étiage au cours de l'été. Dans le cas de précipitations abondantes de la fin du printemps à la fin de l'été, nous avons simplement retenu la valeur donnée par l'équation, en faisant jouer toutes les précipitations.

Ne disposant pas des précipitations journalières, nous avons arrêté l'étiage soit à la fin du dernier mois sec, soit au milieu du mois suivant, selon l'abondance des précipitations au cours de ce dernier. La valeur estimée de l'écoulement à la fin de l'étiage est exprimée en débit journalier spécifique (Fig. 38).

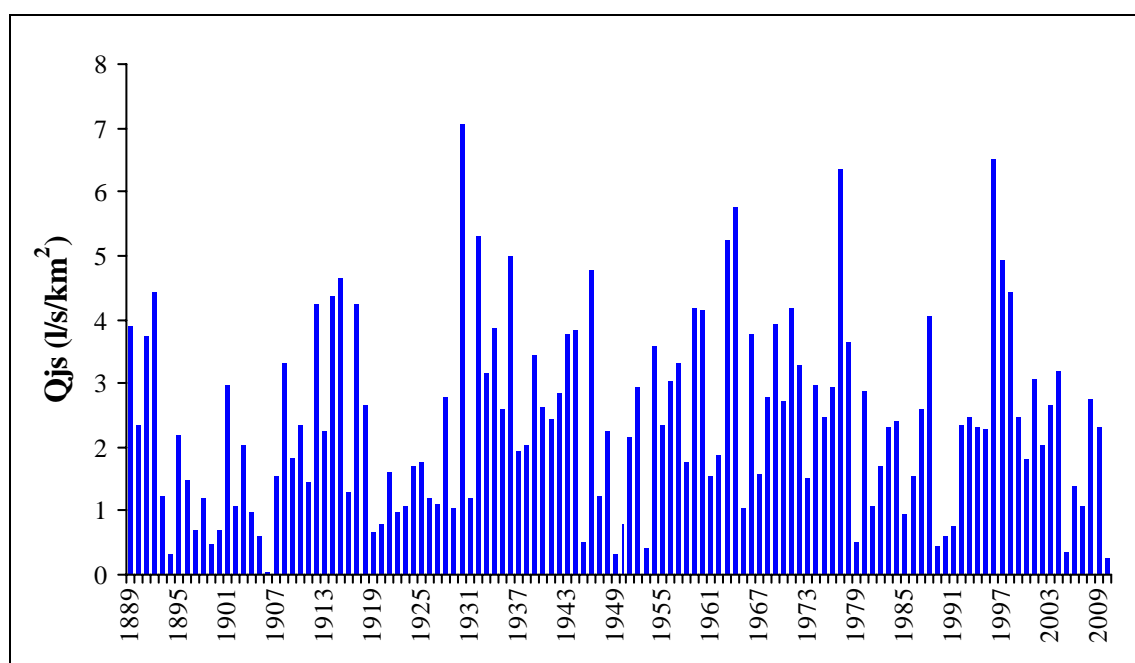


Figure 38 - Valeurs de l'écoulement de fin d'étiage, calculées pour le ruisseau de la Bastide à partir des précipitations à Saint-Jean-du-Gard, sur la période 1889-2009.

Les résultats obtenus valent évidemment pour une occupation du milieu semblable à l'actuelle. Or les conditions ont certainement beaucoup évolué depuis la fin du XIX^{ème} siècle, la forêt envahissant partout des versants jadis largement voués au pâturage (J.M. CASTEX et F. ALLIGNOL, 2006 ; J. GRELU, 2006). Il n'en reste pas moins que cette démarche permet de replacer les observations hydrologiques récentes dans une chronique beaucoup plus longue.

Pour 122 années de mesures pluviométriques, le débit journalier spécifique calculé pour la fin d'étiage est inférieur à 1,0 l/s/km² à 21 reprises. La valeur maximale atteint 7,0 l/s/km² (en 1930), la moyenne 2,4 l/s/km² et la médiane 2,3 l/s/km². La valeur minimale est obtenue pour 1906 (0,04 l/s/km² – mi-août), devant 2010 (0,24 l/s/km² – mi-septembre), 1949 (0,32 l/s/km² – mi-septembre), 1894 (0,32 l/s/km² – fin octobre), 2005 (0,35 l/s/km² – fin août) et 1953 (0,40 l/s/km² – mi-septembre).

Les étiages les plus tardifs se placent à la mi-décembre, en 1979 (0,50 l/s/km² – 10^{ème} rang sur 121) et en 1985 (0,95 l/s/km² – 19^{ème} rang).

Pour les années autres que 2005 pendant lesquelles nous avons travaillé sur la Vallée Obscure, 2007 occupe le 24^{ème} rang (1,1 l/s/km²), 2006 le 35^{ème} (1,4 l/s/km²), 2009 le 61^{ème} (2,3 l/s/km²), 2003 le 76^{ème} (2,7 l/s/km²), 2008 le 78^{ème} (2,8 l/s/km²) et 2004 le 90^{ème} (3,2 l/s/km²).

Par rapport à l'ensemble de la chronique, la période récente ne manifeste donc pas, du moins globalement, des conditions pluviométriques exceptionnellement difficiles. Bien sûr, un étiage très sévère s'est produit en 2005. Mais celui de 2010 a été beaucoup moins sensible dans la Vallée Obscure et sur le Gardon que ne l'indique le traitement des précipitations à Saint-Jean-du-Gard, où les pluies ont été relativement déficientes en 2009-10. Avec 906 mm de précipitations annuelles, 2009-10 occupe ici le 2^{ème} rang sur 7 des années les plus sèches sur la période 2003-10 (3^{ème} rang dans la Vallée Obscure – 1440 mm), mais surtout elle présente un déficit pluviométrique de 28 % par rapport à la moyenne depuis 2003, contre 10 % seulement dans la Vallée Obscure. La prise en compte de la répartition spatiale des pluies sera indispensable à la connaissance des écoulements sur l'ensemble du bassin versant du Gardon de Saint-Jean.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CASTEX J.M. et ALLIGNOL F. (2006) - Évolution de la couverture végétale et de l'occupation du sol dans la Vallée Obscure depuis le milieu du XIX^{ème} siècle. *In : Les systèmes de terrasses cévenols. Exemples de la Vallée Obscure et du vallon du Rouquet*. Supplément au n° XXXIII des Études de Géographie Physique, Projet TERRISC, p. 95-107.
- GRELU J. (2006) - Reforestation et sylviculture dans la Vallée Obscure et dans le vallon du Rouquet – Vous avez dit "restauration des terrains en montagne". *In : Les systèmes de terrasses cévenols. Exemples de la Vallée Obscure et du vallon du Rouquet*. Supplément au n° XXXIII des Études de Géographie Physique, Projet TERRISC, p. 109-117.
- MARTIN C., DIDON-LESCOT J.F. et JOLIVET J. (2007) - Réflexion sur le rôle hydrologique des aménagements anciens des versants et des thalwegs : l'exemple des Cévennes. *Actes de les jornades sobre terrasses i Prevenció de riscos naturals* (Majorque, 2006), Édit. Consell de Mallorca, p. 141-148. Consultable sur le site du projet INTERREG IIIB SUDOE "TERRISC" : www.conselldemallorca.net/mediambient/terrisc/ , feuille "résultats".
- SCHULLER F., GOMEZ N., GEORGES L., ROQUES G. et BARRÉ R. (2007) - Le projet "Ressource en eau" : les efforts pour la réhabilitation des *tancats*. *In : Les systèmes de terrasses cévenols. Exemples de la Vallée Obscure et du vallon du Rouquet*. Supplément au n° XXXIII des Études de Géographie Physique, Projet TERRISC, p. 143-153.
- MARTIN C., DIDON-LESCOT J.F., DOMERGUE J.M., JOLIVET J. et RAY D. (2008) - *Suivis hydrologiques dans la Vallée Obscure (commune de Peyrolles, Gard)*. Rapport final pour le SMAGE des Gardons, 50 p.
- DIDON-LESCOT J.F., MARTIN C., DOMERGUE J.M. et JOLIVET J. (2009) - *Les étiages dans le bassin versant du Gardon de Saint-Jean (commune de Peyrolles, Gard)*. Rapport intermédiaire au SMAGE des Gardons, 27 p.